

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONUN BASINÇ DAYANIMINA NUMUNE
BOYUTUNUN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aziz TÜRKEİ**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

**BETONUN BASINÇ DAYANIMINA NUMUNE
BOYUTUNUN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aziz TÜRKEİ
(501021101)**

**Tezin Enstitüye Verildiğı Tarih : 12 Temmuz 2006
Tezin Savunulduğı Tarih : 14 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. M.Hulusi ÖZKUL (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Mustafa KARAGÜLER (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu tezin yürütücülüğünü yapan ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocam Prof. Dr. M. Hulusi ÖZKUL ' a,

Deneysel çalışmalarım sırasında yardımcı olan arkadaşım İnş. Yük. Müh. İ.Erkan IŞIK ve İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına,

Çalışmalarım sırasınca her zaman beni destekleyen aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs 2006

Aziz TÜRKEK

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER	3
2.1 Beton	3
2.2 Betonun mekanik özellikleri	4
2.3 Betonun basınç dayanımı	4
2.3.1 Normal dayanımlı betonlar	5
2.3.2 Yüksek dayanımlı betonlar	5
2.3.3 Silis dumanı ve betonun özelliklerine etkisi	6
2.3.3.1 Silis dumanının betonun mekanik özelliklerine etkisi	6
2.3.3.2 Silis dumanının betonun fiziksel özelliklerine etkisi	7
2.3.4 Kimyasal katkı kullanımı	7
2.4 Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler	8
2.4.1 Deney yönteminden bağımsız faktörler	9
2.4.1.1 Çimento ile ilgili faktörler	9
2.4.1.2 Karışımdaki agrega ile ilgili faktörler	9
2.4.1.3 Su / çimento oranı	10
2.4.1.4 Sıkıştırma düzeyi	10
2.4.1.5 Betonun deney yaşı	10
2.4.1.6 Kür koşulları	11
2.4.2 Deney yöntemi ile ilişkili faktörler	12
2.4.2.1 Yükleme hızı	12
2.4.2.2 Numunelerin nem içeriği	12
2.4.2.3 Deney ortamının sıcaklığı	12

2.4.2.4 Numune boyutu	13
2.5 Basınç dayanımına etkiyen diğer faktörler	15
2.5.1 Numune biçimi	15
2.5.2 Düzensiz dayanım	16
2.5.3 Agreg a boyutu ve granölometrisi	16
2.5.4 Numune ve basınç tablası arasındaki teğetsel gerilme kuvveti	17
2.5.5 Kalıplama ve yükleme doğrultusu	18
2.5.6 Numune uç yüzeylerinin hazırlanma şeklinin etkisi	19
2.5.7 Cidar etkisi	20
2.5.8 Yükleme Bloğu ve Eksantrisine	21
2.6 Boyut etkisi ile ilgili ampirik formüller	22
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
3.1 Kullanılan Malzemeler	27
3.1.1 Çimento	27
3.1.2 Silis dumanı	27
3.1.3 Agregalar	28
3.1.3 Kimyasal katkıları	28
3.2 Beton Karışımları	28
3.3 Numunelerin üretimi ve hazırlanması	31
3.4 Karot alma ve kesme işlemi	32
3.5 Numune boyutları ve şekilleri	32
3.6 Kür koşulları	33
3.7 Numune kodlarının belirlenmesi	33
3.8 Başlıklama işlemi	34
3.9 Yapılan Deneyler	34
3.9.1 Taze beton deneyleri	34
3.9.1.1 Çökme deneyi	34
3.9.1.2 Birim ağırlık deneyi	35
3.9.2 Sertleşmiş beton deneyleri	35
3.9.2.1 Basınç deneyi	35
4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ	38
4.1 Taze Beton Deney Sonuçları	38
4.1.1 Birim ağırlık ve kıvam deneyi	38
4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri	39

4.2.1 Basınç dayanım değerleri	39
4.2.2 Yerinde basınç dayanımının hesaplanması	42
4.2.2.1 Karot numune dayanımlarının değerlendirilmesi	42
4.2.2.2 Küp numune dayanımlarının değerlendirilmesi	45
4.2.3 Basınç dayanımının agrega çapına göre dağılımı	46
4.2.3 Cidar etkisi	48
4.2.5 İstatistiksel değerlendirme	49
4.2.5.1 Standart sapma ve değişkenlik katsayısı	49
4.2.6 Dönüşüm faktörünün belirlenmesi	54
5- GENEL SONUÇLAR	57
6- KAYNAKLAR	59
7- EKLER	62
8- ÖZGEÇMİŞ	71

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	27
Tablo 3.2 Tipik bir silis dumanının kimyasal bileşimi.....	27
Tablo 3.3 Silis dumanının fiziksel özellikleri.....	27
Tablo 3.4 Agregaların elek analizi.....	28
Tablo 3.5 Deneme beton karışım bileşimleri (kg/m ³) ve basınç dayanımları.....	31
Tablo 3.6 Teorik beton bileşimleri ve özellikleri.....	31
Tablo 3.7 Numunelere ait yükleme hızı değerleri.....	36
Tablo 4.1 Gerçek beton bileşimleri (kg/m ³) ve özellikleri.....	38
Tablo 4.2 28.Günlük karot basınç dayanım değerleri.	39
Tablo 4.3 28.Günlük küp basınç dayanım değerleri.....	41
Tablo 4.4 Çeşitli karot çaplarına karşı gelen boyut düzeltme faktörleri (Neville, 1996).....	42
Tablo 4.5 Neville(1996) bağıntısına göre standart küp dayanım değerleri.....	43
Tablo 4.6 Concrete Society karot narinlik düzeltme faktörleri.....	44
Tablo 4.7 Concrete Society'e göre eşdeğer boyuttaki küp dayanım değerleri	44
Tablo 4.8 Neville (1996) bağıntısına göre küp boyut düzeltme faktörleri.....	45
Tablo 4.9 Neville (1996) bağıntısına göre standart küp dayanım değerleri.....	45
Tablo 4.10 Kesim tabakasının kalınlığına bağlı ortalama dayanım değişimi.....	47
Tablo 4.11 Kesilen yüzey sayısına bağlı ortalama dayanım değişimi.....	48
Tablo 4.12 Karot numunelerin standart sapma ve değişkenlik katsayısı değerleri...50	
Tablo 4.13 Küp numunelerin standart ve değişkenlik katsayısı değerleri.....	52
Tablo 4.14 Küp numunelerin istatistiksel olarak karşılaştırılması.....	53
Tablo 4.15 Karot numunelerin istatistiksel olarak karşılaştırılması.....	54
Tablo 4.16 Boyutlar arasındaki ortalama dönüşüm faktörleri.....	55
Tablo A.1 Student –t- sayısı çizelgesi.....	63

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Numune yüzeyi ile pres tablası arasındaki sürtünme kuvvetleri.....	18
Şekil 2.2 Agreganın kalıp yüzeyine olan uzaklığı ile değişimi.....	21
Şekil 2.3 152 mm çaplı yükleme bloğu düzeneği.....	22
Şekil 2.4 Numune geometrisinin basınç dayanımı ile değişim grafiği.....	23
Şekil 2.5 f_0 / f_s dayanım oranının numune boyutları (h,d) ile değişimi.....	25
Şekil 3.1 D_{maks} :12 mm olan karışımın granülometrisi ve referans eğrileri.....	29
Şekil 3.2 D_{maks} :22 mm olan karışımın granülometrisi ve referans eğrileri.....	30
Şekil 3.3 D_{maks} :32 mm olan karışımın granülometrisi ve referans eğrileri.....	30
Şekil 3.4 Numune şekilleri ve boyutları.....	33
Şekil 3.5 Çökme hunisi.....	35
Şekil 3.6 Numunelerin basınç yükleme doğrultuları.....	36
Şekil 3.7 300 tonluk basınç deney aleti.....	37
Şekil 3.8 500 tonluk basınç deney aleti.....	37
Şekil 4.1 Karotlara ait 28.günlük ortalama basınç dayanım değerleri.....	40
Şekil 4.2 Küp numunelere ait 28.günlük ortalama basınç dayanım değerleri.....	41
Şekil 4.3 Normalize edilmiş basınç dayanımının en büyük agrega boyutu ile değişimi.....	46
Şekil 4.4 Kesilen yüzey kalınlığına bağlı dayanım değişimi.....	47
Şekil 4.5 Kesilen yüzey sayısına göre ortalama dayanım değişimi.....	49
Şekil 4.6 Karot numunelere ait ortalama standart sapma ve değişkenlik Katsayısı.....	51
Şekil 4.7 Küp numunelere ait ortalama standart sapma ve değişkenlik katsayısı.....	51
Şekil B.1 Numune boyutları ve şekilleri.....	64
Şekil B.2 N.D.B.32 sınıfı numune basınç dayanım sonuçları.....	65
Şekil B.3 N.D.B.22 sınıfı numune basınç dayanım sonuçları.....	66
Şekil B.4 N.D.B.12 sınıfı numune basınç dayanım sonuçları.....	67
Şekil B.5 Y.D.B.32 sınıfı numune basınç dayanım sonuçları.....	68

Şekil B.6 Y.D.B.22 sınıfı numune basınç dayanım sonuçları.....	69
Şekil B.7 Y.D.B.12 sınıfı numune basınç dayanım sonuçları.....	70

BETONUN BASINÇ DAYANIMINA NUMUNE BOYUTUNUN ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada betonun basınç dayanımına beton bloklardan kesilerek çıkarılan küp ve silindir şeklindeki numunelerin boyutlarının etkisi araştırıldı.

Çalışmada iki farklı beton sınıfında maksimum agrega çapı 12, 22 ve 32 mm olan 6 farklı seri beton üretimi yapılmıştır. Normal dayanım sınıfında çimento miktarı 305–335 kg /m³ , yüksek dayanım sınıfında ise 475–500 kg /m³’tür. Yüksek dayanım sınıfında hedeflenen dayanımı elde edebilmek için çimentoya ilave olarak çimento dozajının % 5’i kadar silis dumanı katılmıştır. Bu betonlarda su / bağlayıcı oranı; normal dayanım sınıfı için 0,51–0,55; yüksek dayanım sınıfı için 0,33–0,35 arasında değişmektedir. Her beton serisi için 11 farklı ebatla prizma şeklinde bloklar üretilmiştir. Beton kalıplara döküldükten 24 saat sonra kalıplardan çıkarılıp 20±2°C sıcaklıktaki kirece doymuş su havuzuna yerleştirilmiştir. Yüksek dayanım sınıfındaki numuneler 3. gün normal dayanım sınıfı betonlar ise 6. gün kür havuzundan çıkarılıp 4 farklı boyutta küp numune kesilmiş ve 3 farklı çapta karot çıkarılmıştır. Numuneler aynı gün içerisinde tekrar aynı kür havuzuna yerleştirildiler. 28. gün kür havuzundan çıkarılan numuneler kalıplama doğrultularına paralel doğrultuda başlık yapıp 33. gün basınç deneyine tabii tutulmuşlardır.

Basınç deneyinin sonuçlarına göre hem karot hem küp numunelerde en yüksek değer 100 mm numunede elde edilmiştir. Numune boyutunun 100 mm üzerine çıkması ile dayanımın azaldığı, ancak küçük boyuttaki (50 mm) numunelerin bu kuralın dışında kaldığı görülmüştür. Ayrıca sadece 100 mm küp numuneler üzerinde yapılan kesme işlemine bağlı olarak kesilen yüzey sayısı ile dayanımda bir artışın olduğu görülmüştür. Böylece, kesilen yüzey sayısı artarken cidar etkisinin azaldığı ve kesme hasarına rağmen dayanımın arttığı görülmüştür. Buna paralel olarak kalıp kenarından farklı uzaklıkta yapılan kesimlerde dayanımın kalıp yüzeyinden sonra ki ilk 50 mm de arttığı, ancak 100 mm’den sonra dayanımda düşüşün olduğu görülmüştür.

THE SPECIMEN SIZE EFFECT ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

SUMMARY

In the study, the size effect for different sizes of cubes and cores on compressive strength of concrete was investigated.

In this study, 6 series of concretes, with two different strength types and three different maximum aggregate size, such as 12, 22 and 32 mm were produced. The cement contents for normal concretes were between 305–335 kg / m³ and for high strength concretes between 475–500 kg / m³. For the latter concretes, silica fume was added in cement contents to obtain necessary compressive strength. Normal strength concretes have water-binder ratios of 0.33-0.35 and high strength concretes between 0.51-0.55, respectively. For each concrete grade, approximately 195 dm³ concrete was produced and cast in 11 different size of prismatic molds. These specimens were kept in water at 20±2 ° C. Specimens of high strength concrete were drilled and cut at the 3th day with different dimensions. Similarly, specimens of normal strength concrete were removed at the 6th day from water and then drilled and cut. After cutting, all of them were put into again water at similar day. Test for compression strength was applied at 28th day and the strengths were compared for cubes and cores. The high strength values were obtained in both cut and drilled specimens with 100 mm dimensions. This investigation indicates the decrease in strength with an increase in size of specimen for the specimens with 100 mm and over, however the opposite trend is observed for the 50 mm size specimens; lower the volume higher the strength, which conflicts with the known rule of size effect. Depending on the test results carried out on the 100 mm cubic specimens, when the number of cut surfaces increases the strength also increases, in spite of the high amount of cutting damage which is more pronounced in the high strength specimens. This behaviour can be due to the reducing the wall effect by cutting out the moulded surfaces.

It was also found that the strength is highest when the outer 50 mm thick boundary was removed, however when the thickness from the edge of mould becomes 100 mm, the strength drops, probably due to the inhomogeneity of insufficient compactions.

BETONUN BASINÇ DAYANIMINA NUMUNE BOYUTUNUN ETKİSİ

1.GİRİŞ

Temel bir yapı malzemesi olan beton yapısı bakımından diğer yapı malzemelerinden ayrılır. Beton özelliklerinin tıpkı yaşayan sistemlerde olduğu gibi, zamanla gelişme gösterdiği tespit edilmiştir. Betonun bir bütün olarak yapısı, bileşenlerinin özelliklerinin ayrı ayrı süperpozisyonu ile elde edilemez. Betonun davranışlarının büyük bir bölümü, bu bileşenlerinin arasındaki etkileşimleri ile ortaya çıkmaktadır.

Beton çimento, ince agrega, kaba agrega, su ve gerektiğinde çeşitli kimyasal ve/veya mineral katkıları içeren kompozit bir malzemedir. Betonda aranan en önemli özellik basınç dayanımıdır. Bu bileşen malzemenin kırılmadan önce alabileceği en yüksek gerilme değeri olarak tanımlanabilir. Betonun dayanımı çimento hidratasyonunun bir fonksiyonu olması ve bu işleminde zamana bağlı olmasından dolayı dayanım belirtilirken çoğunlukla betonun yaşı ile birlikte söylenir. Dayanım, standart ortam koşullarında (sıcaklık ve nem) tutulan, standart boyutlardaki numuneler ve standart deney yöntemleri kullanılarak belirlenir. Beton üzerinde yapılan çeşitli araştırmalarda malzemenin mevcut özellikleri ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiler aranmıştır. Bu araştırmalar sonucunda betonun bazı özelliklerinin basınç dayanımı ile aynı yönde değiştiği bazılarının da farklı yönde değiştiği gözlemlenmiştir. Bu ilişkiden dolayı basınç dayanımı, beton için bir kalite ölçütü olarak kullanılmıştır. Ancak diğer özelliklerle basınç dayanımı arasındaki bağıllık mutlak değildir. Bazı özel uygulamalarda, söz konusu uygulamada önem taşıyan özelliğin deneysel olarak incelenmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Üretilen betonun kalitesinin tüm ülkelerde olduğu gibi bizim ülkemizde de titizlikle kontrolü gerekmektedir. Betonarme yapılarda betonun projede öngörülen dayanıma sahip olacak şekilde üretilmesi istenmektedir. Bu amaca ulaşmak için öncelikle beton bileşiminin doğru bir şekilde saptanması gerekmektedir. Betonun basınç dayanımı, çok sayıda faktörlerden etkilenmesinden dolayı büyük bir dağılma göstermektedir. Başka bir deyişle aynı agrega ve çimento kullanılmasına ve bileşimi ile üretim

metotlarında bir değişiklik yapılmamasına rağmen betonların dayanımları birbirinden farklı olabilmekte ve oldukça geniş bir aralık içinde değişebilmektedir. Betonun basınç dayanımı başta su/çimento oranı olmak üzere, agreganın cinsi ve oranları, kür koşulları, çimento cinsi ve dozajı, deney koşulları vb. gibi faktörlerden etkilenmektedir. Numune boyutu ise deney koşulları içerisinde yer alan bir etkidir. Bu etkinin farklı numune boyutları üzerindeki etkisi tam olarak belirlenmemesine rağmen bu konu üzerinde çalışmalarda farklı etkilerin söz konusu olduğu belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER

2.1 Beton

İnsanoğlu binlerce yıl önce taşı yapı malzemesi olarak kullanmaya başladığında, elinde iyi bir bağlayıcı malzeme olmadığından, uygulamada başarılı olamamıştır. Eski Grek, İyon ve Roma tapınaklarında belirli açıklıkların geçilmesinde tek parça taşlardan oluşan kirişler kullanılmıştır. Ancak taşın çekme dayanımı düşük olduğundan, geçilen açıklıklar sınırlı kalmış ve büyük kesitler gerektiğinden ağır elemanların taşınması ve yerine konması büyük sorunlar yaratmıştır. İnsanoğlunun daha büyük açıklıklar geçme tutkusu onu yeni yapı sistemleri aramaya itmiş ve bunun sonucu olarak kireç ve doğal çimento gibi bağlayıcı elemanların bulunması ile daha dayanıklı yapılar inşaa edilmeye başlanmıştır. Büyük açıklıkların geçilmesi için ise betonarmenin bulunması beklenmiştir [1].

Beton kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega vb.), çimento, kimyasal ve mineral katkıları ve suyun karıştırılmasından elde edilen bir yapı malzemesidir. Bu malzemeler belirli oranlarda karıştırıldığında kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Betonun diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özellik istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamı ve basınç dayanımıdır. İyi bir betondan, işlenebilir olması, dayanımının yüksek olması ve dış etkenlere karşı dayanıklı olması gibi özellikler beklenir. Basınç dayanımı beton kalitesi hakkında genel bir fikir verir. Diğer birçok özelliği etkilediğinden, karışım seçiminde en önemli faktör olarak görülür. Ancak bazı durumlarda geçirimsizlik ve dayanıklılık daha önemli bir özellik olabilmektedir. Belirli bir basınç dayanımını sağlayan karışım seçilirken karışımın ekonomik ve kullanıldığı yere göre işlenmesi kolay bir kıvamda olması gerekir [1,2].

2.2 Betonun mekanik özellikleri

Beton heterojen ve yarı gevrek bir malzemedir. Kendine özgü davranışı zamana ve yük geçmişine bağlıdır. Bu özelliklerin başında betonun dayanımı ve deformasyonu daha ön plana çıkmaktadır.

2.3 Betonun basınç dayanımı

Beton diğer birçok gevrek yapı malzemesi gibi basıncı yüksek, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Betonun çok düşük olan çekme dayanımı hesaplarda genellikle dikkate alınmadığından, üzerinde durulan en önemli özelliği basınç dayanımıdır. Betonun standart basınç dayanımı suda saklanmış 28 günlük, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindirik numunelerin eksensel basınç altındaki dayanımı olarak tanımlanır.

Ülkemizde ve diğer bazı ülkelerde silindir yerine çoğunlukla 150x150x150 mm küp numuneler kullanılmaktadır. Küp ve silindir numuneler arasındaki ilişkiyi saptayabilmek için çok sayıda deney yapılmıştır. Bu araştırmalar sonunda , silindir dayanımının küp dayanımına oranının ortalama 0,80-0,85 arasında olduğu bulunmuş olmasına karşın bir çok numunede bu oranın 0,7'ye kadar düştüğü veya 1,1'e kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durumda küp dayanımı 0,8 ve 0,85 gibi bir katsayı ile çarpılarak silindir dayanımına çevrilebilirse de, bunun her zaman kesin olmadığı unutulmamalıdır. Bu fark beton dayanımı değişen betonlarda daha farklı bir boyut kazanacaktır.

Yirmi beş yıl öncesine kadar silindir Amerika'da, küp ise Avrupa'da standart numune olarak kabul ediliyordu. Ancak son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarda silindirin küpten daha iyi olduğu görüldüğünden Avrupa Beton Komitesi (CEB)'de silindiri standart numune olarak kabul etmiştir. Bunun tercih edilmesindeki nedenler kısaca şöyle özetlenebilir:

- Küp numunesinin alanı ve dayanımı silindire göre daha büyük olduğundan, kırılma yükü yaklaşık % 40 daha fazladır. Bu durumda numuneyi kırmak için daha yüksek kapasitede bir pres makinesi gerekmektedir.
- Küpün keskin köşelerinde büzülme (rötre) nedeni ile gerilme yığılmaları olabilir.

- K p deneyinde kırılma eğik çatlakların oluşması ile başlar ve giderek bu çatlaklar numunenin bir piramit şeklinde kırılmasına neden olur. Eksenel basınç altındaki bir numunenin bu tür kırılışının nedeni, pres tablası ile numune arasındaki sürtünmeden oluşan, yük eksenine dik kuvvetlerdir [1].

Betonlar basınç dayanımlarına göre üç ana gruba ayrılırlar;

- Düşük dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20 N/mm^2 'den az olan betonlardır.
- Normal dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları $20\text{--}40 \text{ N/mm}^2$ arası olan betonlardır.
- Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 40 N/mm^2 'den fazla olan betonlardır [2]. Biz burada iki sınıf beton dayanımından bahsedeceğiz.

2.3.1 Normal dayanımlı betonlar

Normal betonlar, günümüzde yaygın olarak kullanılan genel amaçlı betonlardır. En önemli özellikleri, malzemesine kolay ulaşılabilmesi, özel nitelikler gerektirmeyen ve kolay elde edilebilen işgücü ile ekonomik ve standartlara göre seri üretim yapılabilmesidir.

Basınç dayanımları $20\text{--}50 \text{ MPa}$ arasında değişen normal dayanımlı betonların sünek davranışı bu dayanımın artması ile azalmaktadır. Yüksek dayanımlı ve ultra yüksek dayanımlı betonlarla karşılaştırıldıklarında ise, normal dayanımlı betonların tek eksenli basınç ve çekme dayanımları düşük kalmaktadır. Bu özelliklere sahip normal dayanımlı betonlar bina, yol, köprü, tünel, baraj ve prefabrik yapı elemanları gibi, pek çok alanda kullanılırlar. Beton endüstrisinin gelişmesiyle, her ne kadar üstün niteliklere sahip betonlar üretilse de, normal dayanımlı betonların uygulamada her zaman bulunmaktadır [3].

2.3.2 Yüksek dayanımlı betonlar

Yüksek dayanımlı betonlar, gelişen beton endüstrisine paralel olarak ortaya çıkan yeni tekniklerin uygulanması ve bazı farklı malzemelerin kompozit yapının oluşturulmasında kullanılması ile meydana gelen, normal betonlardan daha üstün iç yapı ve mekanik davranışa sahip betonlardır [4].

Küp basınç dayanımı 60–115, silindir basınç dayanımı 50–100 MPa arasında değişen betonlar, günümüz standartlarına göre yüksek dayanımlı betonlar sınıfını oluştururlar. Silis dumanı, silis unu, yüksek dayanımlı çimento ve süper akışkanlaştırıcı kullanımı ile yüksek dayanımlı betonlar üretilir. Özellikle silis dumanının, süper akışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılması, çimento hamurunda sıkı bir diziliş oluşmasını sağlayarak üstün bir performans elde edilmesine neden olur [5,3].

2.3.3 Silis dumanı ve betonun özelliklerine etkisi

Silis dumanı, en az % 75 oranında silisyum içeren silisyum veya ferrosilisyum alaşımlarının üretildiği tesislerin baca gazlarıyla taşınan çok ince bir endüstriyel atıktır. Baca gazlarından filtre edilerek tutulan ve amorf halde % 85–95 oranında silis (SiO_2) içeren bu atık, çapı ortalama 0,1 μm olan küresel taneciklerden oluşur. Çimento taneciklerinin ortalama çapı 10 μm olduğu düşünülürse, silis dumanının çimentodan 100 kez daha ince olduğu görülür. Silis dumanının yüksek pozolanik özellik göstermesinin nedeni de budur.

Normal bir beton karışımı çimentonun hidratasyonu ile betonun işlenebilirliği için duyulan ihtiyacının iki katı kadar su ihtiva eder. Mineral katkı içeren beton karışımları belli çökme için yalnızca çimento içeren betonlara kıyasla daha az karışım suyuna ihtiyaç duyar. Silis dumanı içeren beton karışımları, içermeyenlere kıyasla daima daha fazla karışım suyuna ihtiyaç duyarlar. Zira silis dumanı çok ince olduğu için beton karışımlarının yapışma özelliği artar. Bu nedenle işlenebilirliği artırmak ve yeterli sıkışmayı sağlayabilmek için karışım tasarımlarında bazı düzeltmelere gidilebilir. Örneğin, su indirgeyici katkı maddeleri, süper akışkanlaştırıcılar veya hiper akışkanlaştırıcılar kullanılabilmektedir [6].

2.3.3.1 Silis dumanının betonun mekanik özelliklerine etkileri

Su / çimento oranının seçimi, üretilecek betonun dayanımı ve dayanıklılığı göz önüne alınarak yapılmaktadır. Bu iki kritere dayanarak bulunan su / çimento oranlarından daha küçük olanı üretimde kullanılmak üzere seçilir. Kendiliğinden yerleşen yüksek performanslı betonlarda bu değer önemli ölçüde küçüktür ve bu da dayanımı arttırmaktadır. Beton üretiminde kullanılan suyun bir kısmı çimentonun hidratasyonun da işlev görürken, bir kısmı da hidratasyon tepkimelerine girmeden serbest su olarak kalır. Silis dumanının kullanılması, betondaki serbest su miktarını

azaltarak çimento hamuru ara yüzeylerinde daha boşluksuz bir yapı oluşmasını sağlar. Bu sayede hidrate olmuş çimento tanelerinin, birbirleri ile ve agrega ile aderansı artarak dayanım artmaktadır. Silis dumanının dayanımı arttırıcı bir diğer özelliği de puzolanik başka bir ifade ile ikincil bağlayıcı özelliğe sahip olmasıdır. Malzemenin bu karakteri, betonun mikro yapısını iyileştirerek betonun dayanım ve durabilitesinin artmasını sağlamaktadır. Kusurları azaltıcı özelliği nedeni ile kullanılan silis dumanı, gevrekliğin artmasına neden olsa da, günümüzde yaygın biçimde kullanılan lifler sayesinde hem dayanımı hem de sünekliği yüksek, mükemmel enerji yutma kapasitesine sahip betonların üretilmesine olanak sağlamaktadır [7,8].

2.3.3.2 Silis dumanının betonun fiziksel özelliklerine etkileri

Üretilen betondan beklenen ana niteliklerden biri de malzemenin taze halde iken işlenebilir olmasıdır. Başka bir ifade ile malzeme kolay karıştırılabilmeli, kolay yerleştirilip sıkıştırılabilmeli ve karıştırma işlemi sırasında ya da taşıma işlemi sırasında bile bozulma ihtimali bulunan homojenliğin korunması için ayrışmanın meydana gelmesi önlenmelidir. Silis dumanı içeren betonlarda işlenebilme, düşük su/çimento oranı ve silis dumanının kullanılmasıyla artan kohezif yapı nedeni ile geleneksel betonlara göre zorlaşarak, kullanılması gereken karışım suyu miktarı artmaktadır. Bununla beraber silis dumanının kullanılması ile oluşan yoğun yapı nedeni ile betonda segregasyon ihtimali de azalmaktadır. Böylece homojen ve boşluksuz bir yapı oluşarak malzemenin dayanımı ve dürabilitesi artmaktadır. Özellikle kimyasal etkilere ve donma-çözünme gibi tepkimelere yoğun olarak maruz kalan ve bu nedenle boşluksuz yapının tercih edildiği, yüksek dayanımlı betonlarda bu özellik önem kazanmaktadır [8,9].

2.3.4 Kimyasal katkı kullanımı

Genel olarak katkı maddeleri harç ve betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren, betondaki diğer ana bileşenlere göre daha az miktarda kullanılan kimyasallardır. Kullanım amaçlarına göre taze beton veya harcın reolojisini, hava içeriğini, fiziksel, mekanik ve kimyasal etkilere karşı direnç kuvvetini etkileyen katkılar olarak gruplandırılabilir.

Akışkanlaştırıcı katkılar, taze beton ya da harcın işlenebilirliğini değiştirerek reolojik özelliklerini etkilerken, su/çimento oranını düşürerek boşluk ve ayrışma olmaksızın

daha iyi yerleşmenin sağlanması ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkileyen katkılardır. Akışkanlaştırıcılar etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcılar, orta derecede su azaltıcı akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar olarak sınıflandırılabilir. Son yıllarda beton kalitesinde ve özelliklede yüksek performanslı betonlarda hiper akışkanlaştırıcı katkıların kullanımı kolaylıklar sağlamaktadır. Akışkanlaştırıcıların bu etkileri göstermeleri, hava sürüklemeleri, çimento taneleri tarafından absorbe edilmeleri ve prizi geciktirmelerinden kaynaklanmaktadır. Akışkanlaştırıcı kullanılması ile oluşan kapalı hava boşluklarının yüzeysel sürtünme kuvveti bulunmamaktadır. Böylece kararlı olan bu hava boşlukları, betonun içsel sürtünmesini azaltarak daha az su ile benzer işlenebilme yeteneğinin elde edilmesini sağlamaktadır [10].

Beton endüstrisinden gelen özel istekler istenen performansları verecek polimerlerin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Özellikle bu konuyla ilgili olarak modifiye polikarboksilik eter bazlı yani kuşak hiper akışkanlaştırıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Bu akışkanlaştırıcı türü betonda daha yüksek oranda su azaltmakta, daha fazla akışkanlık sağlamakta ve kıvamı 90 dakikaya kadar korumaktadır.

Yeni yüksek performanslı hiper akışkanlaştırıcılar, düşük çimento dozajlarına rağmen, çok düşük su / çimento oranlarını ($< 0,4$) ve çok akıcı kıvamları (22 cm'den yüksek çökmeli) mümkün kılar. Bu katkıların çalışma mekanizması süper akışkanlaştırıcılar gibi çimento tanecikleri tarafından emilen polimer esaslı katkılar olmalarıdır. Bu çimento hamurunun dağılmasına ve bunun sonucu olarak da beton işlenilirliğinin daha az su karışımı ile elde edilmesini sağlar [11].

2.4 Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler

Betonun basınç dayanımı beton bileşeni doğru esaslara uyularak saptansa da bileşimin dışında daha pek çok değişik faktörlerin etkisi altında bulunmaktadır. Betonun dayanımını etkileyen faktörler a) deney yönteminden bağımsız faktörler b) deney yöntemi ile ilişkili faktörler olmak üzere iki gruba ayrılır.

2.4.1 Deney yönteminden bağımsız faktörler

2.4.1.1 Çimento ile ilgili faktörler

Betonu meydana getiren agrega tanelerini birbirine bağlayan çimento hamuru mukavemetini kaybettiği vakit betonun mukavemeti de ortadan kaybolacaktır. Buradan anlaşılacağı üzere çimento hamurunun mukavemet üzerinde ne derece önemli olduğu görülmektedir. Bu etkime şekline göre çimento iki bakımdan beton mukavemetinin değişimine neden olmaktadır.

Bunlardan birincisi çimento miktarı, yani 1 m³ betondaki çimentonun ağırlık cinsinden değeridir. Bu miktarın artması ile çimento hamurunun hacmi artar. Böylece betonda herhangi bir zorlama halinde çimento hamurunda meydana gelebilecek gerilmelerin küçük değerler alması sağlanmış olur. Bu durum betonun daha büyük bir kuvvet veya gerilme altında mukavemetini kaybetmesine neden olur. Başka bir deyişle betonun mukavemeti çimento miktarının artması ile birlikte artar. Yalnız çimento hamuru ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki bir hayli karışıktır. Çimento miktarının daha çok su / çimento oranını etkileyerek dayanım üzerinde dolaylı bir etkiye sahip olduğu kabul edilmektedir. Diğer taraftan fazla çimento rötreye neden olur ki bu da çatlaklar oluşturarak çekme mukavemetinin büyük değerler almasını engeller.

Çimentonun ikinci etkime şekli çimentonun inceliği ve kimyasal bileşimi ile ilgilidir. Zira çimentonun mukavemetinin yüksek olması ile çimento hamuru parçalanmadan daha büyük gerilmelere maruz kalabilir ki bu da betonun mukavemetini arttırır [12].

2.4.1.2 Karışımdaki agrega ile ilgili faktörler

Agreganın dayanıma etkisi daha çok şekli ve yüzey pürüzlülüğü ile ortaya çıkar. Normal betonlarda kullanılan agregaların dayanımları çimento hamurunun dayanımından zaten yüksek olduğundan agreganın dayanımı beton dayanımını etkileyen önemli bir faktör değildir. Ancak hafif betonlarda ve yüksek dayanımlı betonlarda agrega dayanımı büyük önem taşır.

Agreganın yüzey pürüzlülüğü agrega ile çimento arasındaki aderansı arttırır. Ancak bu etkinin basınç dayanımı bakımından fazla bir önemi yoktur. Öte yandan, düşük su / çimento oranına sahip betonlarda kırma taş agregalar dere agregalarına göre daha yüksek dayanım sağlarlar. Bu etki su / çimento oranı arttıkça azalır. Eşit işlenebilirlik

koşullarında dere agregasıyla kırma taş agrega kullanımı arasında dayanım yönünden önemli bir fark bulunmaz. Bunun nedeni, kırma taş agregaların dere agregalarına göre belirli bir işlenebilirlik için daha fazla suya ihtiyaç göstermektedir [2].

2.4.1.3 Su / Çimento oranı

Betonun mukavemet ve dayanıklılık niteliğini etkileyen en önemli birleşim parametresi su / çimento oranıdır. Betonun işlenirliği açısından bu oran çok önemlidir. Agreganın niteliği ve niceliği bu oranda çok önemli bir rol oynar [13].

Uygun şekilde sıkıştırılmış bir betonun içerdiği boşluk miktarı su / çimento oranıyla doğrudan ilişkilidir. Düşük su / çimento oranlarında yüksek mukavemet elde etmek mümkündür. Ancak su miktarı çok azalırsa, betonu yerleştirmek mümkün olmaz. Bundan dolayı mukavemeti maksimum yapan bir uygun değer olmalıdır. Fazla su kullanımı betonun sıkışmasına engel olarak boşlukları arttıracak ve etkilerde mukavemet değerinin düşmesine neden olacaktır [1].

2.4.1.4 Sıkıştırma düzeyi

Betonun dayanımını etkileyen bir diğer parametre ise sıkıştırılma düzeyidir. Beton, içindeki boşluk miktarının mümkün olan en az düzeye indirilmesi amacı ile sıkıştırılır. İyi sıkıştırılmış, boşlukları ve gözenekleri en az miktarda olan betonların dayanımları iyi sıkıştırılmamış olanlara göre daha yüksek olur. Zira betondaki boşlukların büyük olması mukavemetin azalmasına neden olduğu için yapı malzemesinin en büyük kusurlarından birisi olmasına yol açmaktadır. Bu boşluklar daha çok iri agrega ile çimento hamuru arasında meydana gelmekte ve bu durum iki cisim arasındaki aderans kuvvetini önemli ölçüde azaltmaktadır. Çimento hamuru ile agrega tanecikleri arasındaki aderansın azalması ise mukavemetin önemli ölçüde düşüşüne sebebiyet vermektedir [11,13].

2.4.1.5 Betonun deney yaşı

Uygun sıcaklık ve nem ortamlarında betonun dayanımı numune yaşı ile birlikte artar. Dayanım artış hızı erken yaşlarda daha büyüktür. Pratikte, betonun 28 günlük dayanımı büyük önem taşır. Bunun nedeni, betonun zaman içinde ulaşabileceği en yüksek dayanımının yaklaşık % 70 ilk 28 gün içerisinde elde etmesidir. Daha ileri yaşlarda dayanım kazanma hızı azalır. Dayanım kazanma hızını etkileyen bir diğer

faktörde kullanılan su / çimento oranıdır. Su / çimento oranı düşük olan betonların dayanım kazanma hızı daha yüksektir [2].

2.4.1.6 Kür koşulları

Farklı boyuttaki iki numuneye uygulanan kür farklı oranlarda değişime neden olacaktır. Çünkü yüzey / hacim oranı numune boyutunun azalışı ile artışa geçer ve nemin izlediği yolun uzunluğu farklılaşır. Malzeme mukavemeti numune boyutuna bağlı olarak numunenin merkezinden yüzeyine doğru değişecektir ve hidrasyon deney yaşındaki numune yüzeyi boyunca üniform olmayacaktır. Sabnis ve Aroni [15] tarafından yapılan araştırmada numune yüzeyi ıslak tutularak boyuttaki azalmadan dolayı mukavemetteki artış en aza indirgenebileceği görülmüştür. Yıllık bir periyottan sonra kütle bir baraj betonundan kesilerek elde edilen 250–560 mm çaplı karotların mukavemetlerinde önemsizlenecek değişimler görülmüştür. Bu muhtemelen barajdaki üniform kür koşulları ve aynı zamanda hidrasyonun tamamlanmasından kaynaklanmaktadır.

Numunenin deneye tabii tutulmadan önce kurulması yüksek mukavemet değerleri ile sonuçlanmasına neden olur ve numune boyutu ile tersine değişen yüzey alanı / hacim oranına bağlıdır. En büyük numunenin çok yavaş şekilde yüzeyinin kuruması en küçük akma bileşenleri ve yüzeye karşı en uzun mesafeye bağlı olarak en büyük gerilme değerleri ile sonuçlanacaktır [15].

Soroka ve Baum [16] tarafından yapılan deneysel çalışmada numune boyutuna bağlı dayanım ölçümlerinde kür koşuluna bağlı olarak numune kurulduğunda, ölçülen dayanım değeri özellikle küçük numunelerde etkisini göstermiştir. Dayanım kurumunun meydana getirdiğinin aksine boyuttaki artış ile azalması beklenir, dış tabakadaki hidrasyon yavaşlaması azalır ve içyapıda çatlaklar oluşması muhtemeldir. Yapılan çalışmaya göre küp numunelerin dayanımı kür koşulundan daha çok etkilenmektedir. Bu etki küçük numunelerde daha büyüktür ve boyut etkisi ile azalır. Dayanımdaki bu olumsuz etkinin yavaşlayan hidrasyon ve dış tabakanın kurutulması ile oluşan çatlaklarla ilgilidir. Bu etki boyutlar arasında % 25–40 gibi değişim değerlerine sebep olabilmektedir.

2.4.2 Deney yöntemi ile ilişkili faktörler

2.4.2.1 Yükleme hızı

Beton zamana bağlı deformasyon gösterebilen bir malzeme olduğundan, yükleme hızı dayanımı belirleyen önemli etkenlerden birisidir. Yapılan deneylerin çoğunluğunda, yavaş yüklenen bir numune dayanımının, hızlı yüklenen bir numuneye oranla daha düşük olduğunu görülmüştür. Bu çalışmalara bağlı olarak yükleme hızı azaldıkça dayanım düşmekte, buna karşılık süneklik önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle, betonun sabit ve ölü yükler altındaki davranışı ile, deprem gibi ani gelen yüklemeler altındaki davranışı oldukça değişiktir. Buna bağlı olarak şartname ve yönetmeliklerde standart basınç deneyi tanımlanırken, yükleme hızı $\text{kgf/cm}^2/\text{saniye}$ olarak belirtilir [1].

2.4.2.2 Numunelerin nem içeriği

Numunenin nem içeriği basınç dayanımını etkileyen bir diğer faktördür. Tamamen suya doymuş bir numunenin kuru bir ortamda kür edilen numuneye göre dayanımının % 10–15 daha düşük olduğu görüşü hakimdir. Numunelerin dayanım değerlendirilmesinde nemlilik ile ilgili olarak dikkat edilecek nokta: Numune orijinal durumda ıslak değil ise kuru olarak basınç deneyine tabii tutulmalıdır. Halbuki, BS standartlarında numune deneyden önce en az 40 saat suda tutulup deneye tabii tutulmasını istemektedir. Kısaca numunenin su içerisinde bekletilmesinden kaynaklanan ‘ilave nemlilik’ numune dayanımını olumsuz etkilemektedir [17]

Bartlett ve MacGregor [18] 1994 yılında yaptığı çalışmada 50*100 ve 100*200 mm çaplı karotlara basınç deneyinden önce su içinde saklama süresinin dayanım üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu sonuçlarda deney öncesi numunenin su içinde saklanması dayanım kaybına neden olmuş ve bu kaybın boyutu özellikle uzun süre (22 gün) su içinde tutulan küçük çaplı (50 mm) karotta çok daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Başka bir deyişle suyun küçük çaplı karotun basınç dayanımını azaltıcı etkisi daha belirgindir.

2.4.2.3 Deney ortamının sıcaklığı

Ortam sıcaklığı basınç dayanımı üzerindeki bir diğer etkidir. Burada deneyin yapıldığı ortam sıcaklığı yükseldikçe dayanım düşer. Ayrıca deney sırasında kullanılan malzemelerin ortam sıcaklığına karşı duyarlılığı da önem taşımaktadır.

2.4.2.4 Numune boyutu

Malzemelerde dayanıma boyut etkisi genellikle malzeme içerisinde bulunan boşluk ve mikro çatlak olarak adlandırılan iç mikroskobik olaylarla sonuçlanan istatistiksel bir olay olarak açıklandı. Birçok bilim adamı betonun mekanik özelliklerine boyut etkisini belirlemek için farklı yaklaşım uygulamayı denediler. Çoğu araştırmacı numunenin boyutu numunenin içerisindeki kusurların niteliği ile ilgili yaklaşımlara dayalı teoriler ürettiler. Heterojen malzemelerde (beton gibi) agrega ve numune boyutuna dayalı sistemlerdeki geometrik homojenliğin derecesinin dayanımı etkileyen bir diğer faktör olabileceği görüşü yer almıştır [19].

Çoğu çalışmada küçük boyutlu numunelerin daha yüksek dayanıma sahip olduğu varsayılır. Ayrıca, dayanımdaki dağılım genellikle küçük numunelerde oldukça büyüktür. Boyut etkisi ve dağılımdaki bu davranışın açıklanması için teoriler elde edilmeye çalışılmıştır. Dayanımın istatistiksel teorilerindeki temel yaklaşım dayanımdaki değişim ve düzensiz olan heterojen malzemeye uygun karakterin istatistiksel dağılımını elde etmektedir. Yukarıda da bahsedildiği üzere boyut etkisini belirlemede betonun mikro yapısı ile ilgili yapılan çalışmalar arasında Weillbull, Tucker, Wright-Garwood, Nielsen, Glucklich ve Cohen bu çalışmaları yapanların başında gelenlerdendir. Temel olarak boyut etkisi, mikro yapıya bağlı olarak iki farklı yaklaşımla ifade edilmiştir. Bu yaklaşımlar Freudenthal tarafından ortaya atılan “Demet Teorisi” ve “Zayıf Bağ Teorisi”dir. Klasik demet teorisinde dayanım yalnızca zayıf fiberlerden değil aynı zamanda komşu fiberlerden elde edilen değerlere de bağlıdır. Bu model de numune paralel fiberlerden yapıldığı kabul edilir ve kırılmada bir noktadaki toplam mukavemet her tekil fiberin mukavemeti ile bağdaştığı kabul edilir. Zayıf bağ teorisinde tek bir fiberin içindeki tek bir kusurun bulunması bütün malzemenin (yapının) kırılmasını etkilemeye yeterlidir. Sonuç olarak üniform gerilmeye maruz numunenin bütün mukavemeti zayıf fiberin mukavemeti ile belirlenir. Bu iki teoride malzemenin gerçek karakteristiği iki teori arasında başarısızlığa uğrar. Bu teorik görüşler boyut etkisi olayı üzerinde temel bir fikir vermeyi sağlar [14,20].

Teorik çalışmalarda göze çarpan malzemenin heterojen davranışından kaynaklanan verilere dayanmaktadır. Çoğu malzemedeki heterojenlik varolan boyut etkisini tahmin edildiği gibi enine kesitte teorik araştırmalara yönlendirmiştir. Betonun

davranışını araştırırken boyut ile ilgili özelliklerde gözlemlenen değişimlerle ilgili faktörleri belirlemek önemlidir.

Bu konu üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan bazılarını şu şekilde özetleyebiliriz. Baalbaki [21] dayanımı 40-100 MPa arasında değişen 100x200, 150x300 mm çaplı silindir numuneler üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Çalışmalarında numune boyutu ve elastisite modülünün orantılı olduğunu, numune boyutu ve basınç mukavemetinin azalan doğrultuda orantılı olduğunu belirlemiştir.

Pistilli ve Willems [21] 100x200 ve 150x300 mm silindir numuneler ile deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya göre 27,6–62,1 MPa arasındaki basınç dayanımına sahip betonlarda silindir boyutunun önemsiz olduğunu fakat 62,1–110,4 MPa dayanımlarda önemli bir değişim olduğunu ve 100x200 mm numunelerin daha yüksek dayanıma sahip olduğunu belirlemişlerdir. Aitcin [21] 35, 90 ve 120 MPa dayanıma sahip betonlarda 100x200, 150x300 ve 200x400 mm boyutlarında 3 farklı silindir numune kullanarak yaptığı çalışmada büyük boyutlu numunelerin basınç dayanımı değişim katsayısının daha büyük olduğunu ve büyük boyutlu silindirlerin daha düşük dayanıma sahip olduğunu belirlemiştir.

Birçok deneysel çalışmada sonuçlar gösteriyor ki 50 MPa'dan düşük dayanım değerlerinde 75 veya 100 mm çaplı silindir numunelerin dayanımı 150 mm çaplı silindir numuneye göre önemli derecede fark yaratmadığı görülmüştür. Ancak yukarıdaki görüşlerin aksine Day ve Haque [21] yaptıkları çalışmada büyük boyutlu numunelerin basınç dayanımı değişim katsayısının çok küçük olduğunu belirlemişlerdir. Day dayanıma kalıp türü ve silindir boyutunun etkisini belirlemek için 3 farklı silindir numune kullanmış ve 100x200 mm silindirin ortalama dayanımının 150x300 mm silindir dayanımından çok büyük olmadığını fakat 75x150 mm silindirin 150x300 mm silindirin dayanım değerinden oldukça yüksek olduğunu belirlemiştir. Bununla birlikte kalıp türünün de basınç dayanımında çok büyük bir öneminin olmadığını göstermiştir. Day'ın yaptığı analizlerde 20–100 MPa arasındaki dayanımlarda 100 mm silindirlerin ortalama dayanımı 150 mm silindirlerin ortalama dayanımına göre çok önemli bir farkın olmadığını göstermiştir. Bu farkın 100 mm silindirin dayanımının 150 mm silindirin dayanımından % 5 daha fazla olduğu görülmüştür [22,23].

Breau yaptığı araştırmalarda çapları 457, 610 ve 914 mm olan silindir numunelerin aynı mukavemete sahip olduklarını saptamış ve belli bir boyuttan sonra boyut etkisinin kaybolduğunu belirlemiştir. Aynı araştırmalar düşük mukavemetli betonlardaki boyut etkisinin, yüksek mukavemetli betonlara göre daha fazla olduğunu göstermiştir [31].

2.5 Basınç dayanımına etkiyen diğerk faktörler

2.5.1 Numune Biçimi

Basınç dayanımının numune biçimine bağlı olarak farklı değerler alması, numune yüzeyleri ile pres tablaları arasındaki sürtünme kuvvetlerine bağlıdır. Bu kuvvete bağlı olarak numunenin serbest bir şekilde genişlemesi önlenmekte ve kırılıp dağılması gecikmektedir. Numunenin narinliğine (yükseklik / çap) bağlı olarak sürtünme kuvveti azalıp çoğalmaktadır. Öyle ki narinlik azaldığı zaman sürtünme kuvvetleri numunenin tüm yüksekliği boyunca etkin olmakta ve yanal genişlemeyi önleyerek basınç dayanımını artırmaktadır. Narinliğin artması halinde ise yanal genişleme serbestçe oluşmakta ve basınç dayanımı azalmaktadır [13,24].

Detwiler ve Burg [17] yüksek dayanımlı beton çalışmasında çok daha ilginç deneysel bulgu elde edilmiştir. Bu bulgularda 1,2 m boyutlu küp bloktan 5 yıl sonra alınan 100 ve 50 mm çaplı karotların basınç dayanımının, $1 \leq \lambda \leq 2$ aralığında narinlik sayısından pratik olarak bağımsız olduğunu belirtmişlerdir.

Barlett ve Macgregor [24] tarafından yapılan çalışmada 50 mm çaplı karotların 100 mm çaplı karotlara oranla narinlikten etkilenme olasılığının daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. şayet 100 mm çaplı bir karotta narinliği 2 olan bir numunenin narinliği 1 olan numuneye olan düzeltme faktörü 0,88 iken bu oran 50 mm çaplı karotta 0,80 değerine kadar düşmektedir.

Murdock ve Kesler [25] narinliğin 2 den farklı olduğu durumlarda bu değer için belirtilen düzeltme faktörüne etkisinin düşük ve orta dayanımlı betonlarda önemli olduğunu ancak yüksek dayanımlı betonların bu oranın değişmesinden daha az etkilenmekte olduğunu belirlemişlerdir. Bu ifadenin Tokyay ve Özdemir tarafından yapılan çalışmada da geçerli olduğu görölmüştür.

2.5.2 Düzensiz dayanım

Malzemedeki istatistiksel heterojenlik dayanımı belirleyen mikro mekanizmada önemli bir rol oynar. Bu malzeme dayanımı üzerine mikro yapı içindeki kusurların boyut dağılımının etkisini gösterir. Ancak dayanımın düzensizliği Weibull tipi muhtemel modellere dayalı malzemenin heterojenliğinden kaynaklanır ve çoğu yapıda gevrek kırılmada gözlemlenen boyut etkisini tamamen açıklayamadığı görülür ki burada yapının büyük bir kısmında maksimum gerilmenin üniform görüldüğü yerler hariçtir ve yapı ilk çatlak başlangıcında göçer [14].

2.5.3 Agreg a boyutu ve granülometrisi

Beton agreg a ve çimento bileşiminden oluşmaktadır. Mekanik özellikleri agreg a dağılımına bağlıdır. Örneğin Elastisite modülü mikro mekanizmaya bağlı olarak agreg a yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak belirlenebilir. Beton kırılmaya kadar yüklendiğinde, agreg a yoğunluğu kırılan yüzeyde sürtünme boyunu yönlendirir ki bu betondaki kırılma enerjisinin tamamen agreg a dağılımına bağlı olması ile ilgilidir. Agreg a dağılımı çoğu araştırmada gözlemlenmesine karşın yalnız istatistiksel yöntem sınır tabakadaki kalınlık, agreg a yoğunluğu ve beton karışımının agreg anın sürtünme yüzeyi arasındaki ilişkiyi açıklayabilmektedir. Özellikle bu konuda kalıp yüzeylerin etkisi önemlidir. Kalıp yüzeyleri özellikle agreg a dağılımının düzensizliğine yol açar. Kaba ve ince agreg alar birlikte kalıbın dört köşesi içerisinde zorlanmadan dağıtılabılır. Belirli bir değerden büyük kaba agreg aların kalıp yüzeyinden etkilenme olasılığı daha yüksektir. Burada göze çarpan numune boyutlarının, betonu oluşturan maksimum agreg a boyutundan daha büyük olacağıdır. Çeşitli standartlar numune boyutu ve maksimum agreg a çapı ile ilgili sınırlamalar getirmiştir. Örneğin BS 1881 1970 te 100 mm boyutlu küp numune için maksimum agreg a boyutunun 25 mm olması gerektiğini ve numune boyutu /maksimum agreg a çapı oranının ise 4 olması gerektiği belirtilmiştir. A.S.T.M silindir numuneler için silindir çapının maksimum agreg a çapına oranını 3 olarak verilmiş ve U.S. Bureau düzeltmelerinde bu oranı 4 olarak kabul etmiştir. Bu oran genellikle 3 ile 4 arasında tatmin edici olarak görülmüştür [26,27].

Carrasquillo [28] minimum numune boyutunun maksimum agreg a boyutunun 3 katı olması gerektiğini ve bunun numuneyi sıkıştırmada önemli bir faktör olduğunu göstermiştir.

Issa, Islam ve Yousif [21] tarafından yapılan çalışmada gözlemlenen maksimum agrega boyutunun azalması ile dayanım oranlarının azaldığı yönündedir. Bu durum 4,75 mm çapı dışındaki agregalarda geçerlidir. Bazı araştırmalar küçük boyutlu silindirlerin yüksek dayanım değerlerinde kırılmaya başladığını belirtmişlerdir.

Tanigawa ve Yamada [19] ise çalışmalarında agreganın boyutundaki değişimin yalnızca betonun içyapısını etkilemediğini aynı zamanda karışımın dayanımını etkilediğini belirlemişlerdir. Araştırmacılara göre 3 mm'den daha küçük çaptaki maksimum agreganın basınç dayanımını etkilemediğini ve bunun betondaki heterojenlikle değiştiğini belirlemişlerdir. Burada dikkat edilmesi gereken agreganın boyut etkisinin genellikle numune boyutu / maksimum agrega çapı oranı ile açıklanabileceğini ve agrega boyutunun büyük olmasına rağmen büyük boyuttaki numunelerin daha düşük dayanıma sahip olabileceğini belirtmişlerdir. Çünkü geometrik heterojenliğin etkisi daha küçük olmaktadır.

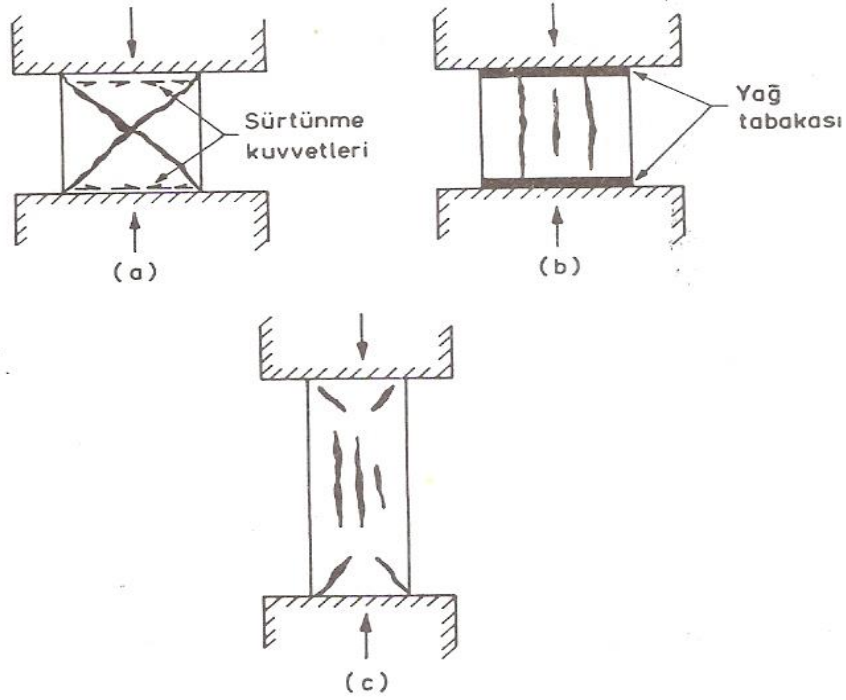
Maksimum agrega boyutu sınırlanan değerlerin dışında kaldığı zaman, sınırlamayı sağlayacak boyutlara ulaşmak için agreganın gerekli eleklerden geçirilmesi yoluna gidilir. Bu işlem numune dayanımı üzerinde önemli bir etki olarak göze çarpmaktadır. Örneğin maksimum agrega çapı 38 mm olan karışımından, maksimum çapı 18 mm olan bir karışım elde edilerek beton üretildiğinde dayanımın % 7 arttığı görülmüştür. Bir diğer araştırmada 152,4 mm maksimum agrega çaplı karışımından 38,1 mm maksimum agrega çaplı karışım elde edilerek üretilen numunelere ait dayanım değerlerinin % 17 – 29 arasında arttığı saptanmıştır [13].

2.5.4 Numune ve basınç tablası arasındaki teğetsel gerilme kuvveti

Yapılan deneysel çalışmaların çoğunda pres tablası ile numune yüzeyi arasında oluşturulan bir yağ tabakasının sürtünmeyi azaltarak numunenin kırılma biçimini değiştirdiğini göstermiştir. Bu durumda kırılma, eksenel basınç deneyinden beklendiği şekilde yük eksenine dik çatlaklar oluşturmakta ve dayanımda azalmalara sebep olmaktadır. Test makinesinin türü ve yükleme yüzeyinin sertliği test sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [14].

Pres tablası ile numune yüzeyleri arasında sürtünme nedeni ile oluşan kuvvetlerin etkisi, yükün uygulandığı yüzeyden uzaklaştıkça azalmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak numune yüksekliğinin kesit boyutuna oranı büyüdükçe, sürtünme etkisi kırılmayı daha az etkilemektedir. Yüksekliğin kesit boyutuna oranı 2 olan

silindir, oranın 1 olduğu küpe kıyasla daha güvenilir bir numune olmaktadır. Standart silindir basınç deneyinde, yönetmeliklerde uygun görülen başlıklama yapıldığında, başlığın sürtünmeyi azaltacağından kırılma Şekil 2.1 de görüldüğü gibi oluşmakta ve yerel sürtünme kuvvetleri numune ortasında etkisini kaybetmektedir [1].



Şekil 2.1: Numune Yüzeyi ile Pres Tablası Arasındaki Sürtünme Kuvvetleri

2.5.5 Kalıplama ve yükleme doğrultusu

Kalıplama doğrultusu ile ilgili olarak Chin, Mansur ve Wee [22] tarafından yapılan deneysel çalışmada aynı boyutlarda yatay ve dikey olarak kalıplanan prizmatik numuneleri karşılaştırılmıştır. Genel olarak, gerilme-şekil değiştirme eğrisinin azalan kolunda dikey olarak kalıplanan numunelerin yatay olarak kalıplanan numunelere göre daha yüksek süneklik gösterdiği görülmüştür. Ancak kalıplama etkisi numune biçimi etkisinden daha az göz önüne alınmakta ve numune biçimi etkisine benzer olarak, kalıplama doğrultusunun etkisi dayanımdaki artış ile daha da küçülmektedir. Yatay kalıplanan numunedeki düşük süneklik yükleme doğrultusu ile betondaki kaba agreganın diziliminden kaynaklanabilir. Yatay kalıplanan numunelerde kaba agreganın çoğunluğunda uzun kısım yükleme doğrultusuna paralel doğrultuda dizilir ve buna bağlı olarak numunedeki kırılma geciken gerilmelerin büyümesinden etkilenir. Yatay kalıplanan numunede yükleme eksenine boyunca agrega ve çimento hamuru arasındaki en büyük bağ alanı yoğun bir mikro çatlak bölgesi yaratır. Bu

yüzden yatay kalıplanan numune, dikey kalıplanan numuneye göre daha düşük gerilmeye maruz kalır ki bu davranış normal dayanımlı betonlarda elde edilen gözlemlerin aksine meydana gelmektedir. Normal dayanımlı betonlarda, numune kalıplama doğrultusuna paralel doğrultuda yüklendiği zaman, kalıplama doğrultusuna dik doğrultuda yükleme yapılan numuneye göre daha düşük sonuçlar elde edilir. Bu olay betondaki doğrultulama ve anizotropideki farklılıklardan dolayıdır ki kaba agregalar arasındaki boşluk ve zayıf bölgeye sahip taze betonda suyun yer değiştirmesinin ana sebeplerindendir. Ancak su / bağlayıcı oranı düşürüldüğünde, agrega-çimento hamuru arasındaki bağ daha güçlenir ve beton daha homojen bir malzeme halini alır. Bu betonun dayanımı büyük iken kalıplama doğrultusunun etkisinin küçülmesine yol açar.

Bu konuda gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, yatay kalıplanan numuneler düşey kalıplanan numunelere göre numune yaşından bağımsız olarak %7–12 arasında daha zayıftırlar. Yip ve Tom [17] 1988 yılında yaptıkları çalışmalarında karot çapına göre rapor edilen oranlarda $d = 50$ mm ve $d = 100$ mm numune boyutları için sırası ile % 8 ve % 4 daha düşüktür. Concrete Society, 1987 kaynağında ise bu oranı % 8 olarak belirtilmiştir.

2.5.6 Numune uç yüzeylerinin hazırlanma şeklinin etkisi

Silindirik beton numuneler normal olarak dökme yüzeyine başlık yapılarak test edilir. Ancak yüksek dayanımlı başlıklama malzemesinin kullanımı dikkat gerektirir; çünkü malzemenin mukavemeti yetersiz olabilir.

Lessard, Chaallal ve Aitcin [29] tarafından yapılan deneysel çalışmada bazı numuneler başlıklı bazıları başlıksız hazırlanarak aralarındaki ortalama mukavemet kıyaslanması yapılmıştır. Değişim katsayıları karşılaştırıldığında numune boyutu fark etmeden değişimin başlıksız numuneler için çok küçük olduğu görülmüştür. 130 MPa'ı aşan mukavemet değerlerinde başlıklı ve başlıksız numuneler arasındaki doğan fark henüz tam olarak anlaşılamamakla beraber 120 MPa aşan değerlerde başlığın kırılma esnasında ezildiği ve bunun betonun basınç dayanımını etkileyip etkilemediğini belirlemenin zor olduğu belirtilmiştir. Örneğin başlıksız olarak elde edilen numunenin ortalaması 149 MPa iken başlıklı numunenin 129 MPa olduğu belirlenmiştir ki bu değer başlıksız numunenin % 87 si civarındadır. Onlara göre başlıklama gerektiğinde yüksek kalitede başlık bileşimi çok ince tabaka halinde

kullanılmalı ve deney esnasında özenle dikkat edilmesi gerekmektedir. Yalnız bu durum 100 MPa'ı aşan basınç dayanım değerlerinde geçerlidir. Burada dikkat edilmesi gereken başlık kullanımının basınç mukavemetinde numunenin uç kısmında pürüzlülüğü azaltması nedeniyle dayanımın gerçek değerine ulaşılabilceği belirtilmiştir. Özellikle sülfür harcı beton silindir numunelerin testinde ve başlıklandırılmasında standart bir işlemdir.

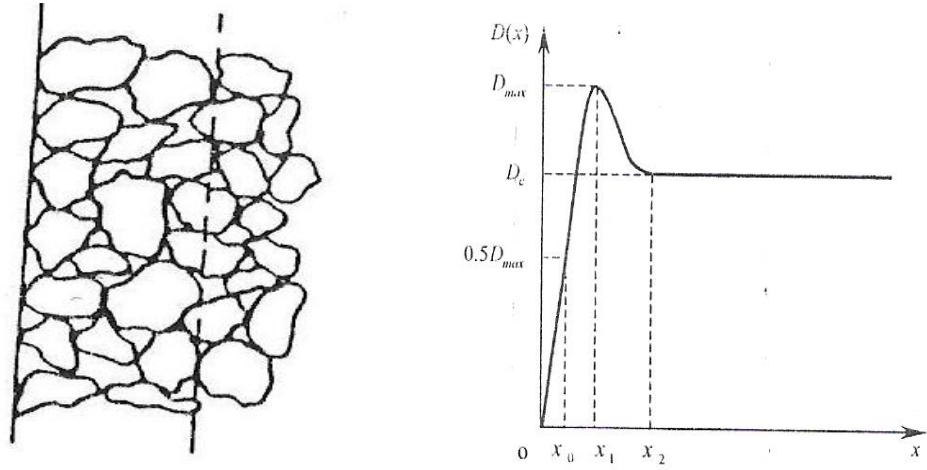
2.5.7 Cidar etkisi

Basınç dayanımına etkileyen bir diğer faktör betonun kalıp yüzeyi civarında farklı bir bileşime sahip olması dolayısı ile ortaya çıkar ve mukavemet bu bölgede iç kısımdan daha farklıdır. Bu tabakanın kalınlığı ortalama bir agregası boyutu kadardır ki bu olaya Cidar etkisi adı verilir. Küçük bir numunede, bu tabakanın etkisi büyük bir numuneye oranla daha büyüktür. Çünkü sınır tabaka kalınlığı numunenin boyutundan bağımsızdır ve çok ince bir enine kesit için önemsenmeyebilir [14].

Agregası granülometrisinde sınırlamanın ortaya çıkmasının sebebi cidar etkisidir ve bu etki betonun şekillendirilmesinde önemlidir. İri taneli agregalar arasında kalan boşlukları doldurmak için harca ihtiyaç duyulmakta ve bunu sağlamak için beton içinde gerektiğinden çok çimento harcı kullanıldığında elverişli bir karışım elde edilebilmektedir [13].

Literatürde en büyük boyuttaki numuneler için geçerli olan; gerilmeye maruz en büyük hacimli betonların düşük bir dayanıma sahip olma olasılığı söz konusudur. Sonuç olarak dayanım azalması boyutun artması ile gerçekleşir. Diğer yandan, benzer karışımlarda en küçük numunenin en yüksek dayanım değerine sahip olması beklenirken bunun tersi bir durumla karşılaşılır. Küçük numunelerdeki bu zıtlığın sebebi cidar etkisi ile ilişkilendirilir. Kaba agregası ile kalıp yüzeyi arasındaki boşluğu doldurmak için gerekli çimento hamuru iç kısımda yer alan yoğun kütleden daha çoktur, bu yüzden cidar etkisini azaltmak için çok önemlidir. Numunenin işlenebilirliğindeki bu etkinin sınırı yüzey alanı / hacim oranı büyük olan numunelerde daha büyük önem taşır. Tokyay ve Özdemir tarafından yapılan çalışmada varılan sonuç; küçük numunedeki düşük dayanımına cidar etkisinin neden olduğu ayrıca yüksek yüzey alanı / hacim oranına sahip olması ve sıkıştırmanın tam sağlanamamasıdır. Bu etki küp numunelerde daha önemlidir [30,25].

Zheng, Li ve Zhao tarafından yapılan çalışmada beton kırılmaya kadar yüklendiğinde, agrega yoğunluğu kırılan yüzeyde sürtünme boyunu yönlendirir. Buna bağlı olarak betondaki kırılma enerjisi dolayısı ile mukavemet agrega dağılımı ile ilgilidir. Kalp yüzeyleri betonun sınır yüzeyinde agrega parçacıklarının dağılımında ve betonun sınır yüzeyinde agrega dağılımı ile yoğunluğu üniform değildir, ancak sınırdan uzaklaştıkça bu dağılım değişir. Araştırmalarda agrega dağılımı yalnız istatistiksel bir metot ile sınır tabakadaki kalınlık - agrega yoğunluğu arasındaki ilişkiyi açıklanmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak dağılımın belirli bir değerden sonra üniform hale geldiğini belirlenmiştir ki bu betonun mukavemeti açısından önemli olmaktadır. Bunu en iyi Şekil 2.2 de görmek mümkündür.[9]



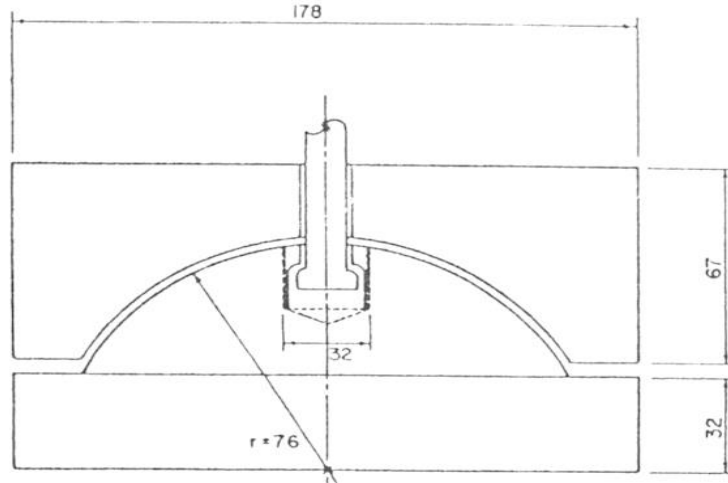
Şekil 2.2: Agrega Hacminin Kalıp Yüzeyine Olan Uzaklığı ile Değişimi

2.5.8 Yükleme bloğu ve Eksantrisite

Basınç dayanımı deney koşulları ve değişik etkenlerle ilgili değişim göstermektedir. Bunların arasında yükleme tablasının oturduğu küresel bloğun çapının ve numunenin yükleme eksenine olan eksantrisitenin etkisi ilk göze çarpanlardır. Özellikle yükleme bloğu çapı önemli bir etken olmaktadır. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalardan birisi Lessard, Chaallal ve Aitcin [29] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmaya göre varılan sonuçta numune çapının değişimine bağlı olarak yükleme bloğunun oturduğu küresel bloğun çapının değiştirilmesi gerekir. ASTM C39-83b 'ye göre basınç deneylerinde konik kırılmanın beklenmesi olağandır. Çünkü numunelerin başlık bölgelerinde test makinesi tablaları ile beton yüzeyleri arasında gecikmiş gerilmeler mevcuttur. Bu çalışmada 150x300 mm silindirik bir numune üzerindeki sonuçlarda Şekil 2.3 deki gibi 152 mm yük bloğu kullanıldığında ASTM

standartlarını doğrulayan patlama kırılması görülmüştür. Ancak 102 mm yük bloğu kullanıldığında kırılma % 17 daha düşük bir dayanım değeri ile sonuçlanmıştır. Neville göre 45 MPa civarındaki bir mukavemete ve hiçbir geciken gerilmeye maruz olmayan bir numunede bu oran % 20 daha düşük olabilir. Burada göze çarpan basınç deneyinde kullanılan yük bloğunun numune boyutu için yeterli olması zorunluluğudur [30].

Bir diğer etki aynı çalışmada yükleme bloğu farklılığından doğan yükleme eksenine olan eksantrisite etkisidir. Bu değerin normal dayanımlı betonda 4–6 mm arasında olması gerekir ve mükemmel şekilde merkezlenen bir numuneye oranla dayanım yönünden çok önemli bir fark oluşmadığı görüşü hakimdir. Ancak bu fark belirli bir değerden sonra belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek dayanımlı betonlarda ise bu değerin 6 mm olması halinde mükemmel olarak merkezlenen bir numune ile karşılaştırıldığında mukavemetinde önemli bir fark oluşmaktadır. Buradan varılan sonuca göre normal dayanımlı betonda 6 mm, yüksek dayanımlı betonda ise 4 mm eksantrisite değerlerinde deneye tabii tutulan eksantrisitelerde olumsuz bir durum gözlenmez [29].



Şekil 2.3: 152 mm Çaplı Yükleme Bloğu Düzenegi

2.6 Boyut etkisi ile ilgili ampirik formüller

Boyut etkisi üzerine yapılan çoğu deneysel çalışmanın amacı birçok faktörün etkisini en aza indirgeyerek betonun basınç dayanımının en doğru değerinin elde edilmesini sağlamaktır. Bu amaçla yapılan çalışmaların başında Neville [31] 1995 yılında

yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada elde edilen bulgulardan faydalanılarak çok önemli bir ampirik formül elde edilmiştir. Bu formülü (2.1) bağıntısı ile gösterebiliriz.

$$f_{karot} / f_{küp,150} = 0,56 + [0,697 / (V/152.h.d + h/d)] \quad (2.1)$$

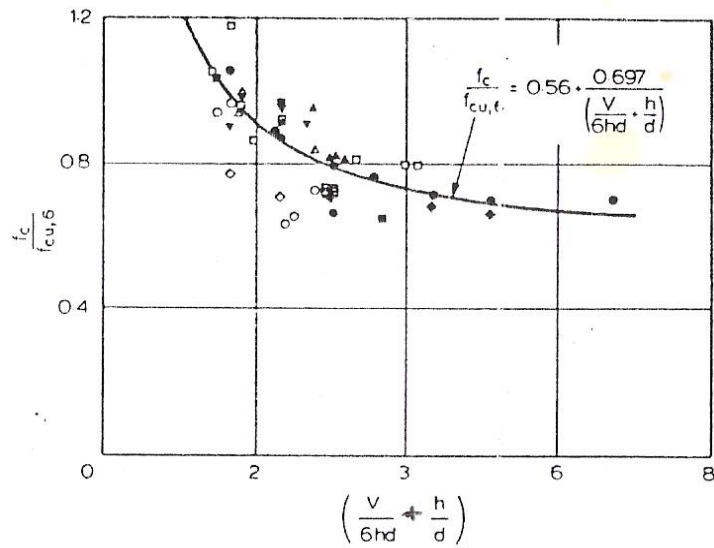
Bu bağıntıya göre herhangi bir d x l boyutlu silindir numunesinin dayanımı f_c , 150x150x150 mm boyutlu küp dayanımı cinsinden ifade edilmektedir. Bu genel ifade ile istenilen çaptaki numunelerin standart numune ile orantısı elde edilebilmektedir. Bu ifadeyi Şekil 2.4 de grafiksel değişimini görebiliriz. Burada:

V: d x l boyutlu numunenin (karot) hacmi, mm³

h: Karot yüksekliği, mm

d: Karot çapı, mm

λ : Karotun narinlik sayısı, $\lambda = l / d$



Şekil 2.4: Numune Geometrisinin Basınç ile Değişim Grafiği (Neville,1996)

Bu ampirik bağıntı ile herhangi bir geometrik formdaki (prizma, silindir, küp) numune dayanımı 150 mm standart küp cinsinden ifade edilebilir (Bağıntıdaki 6 inç'in karşılığı 152 mm'dir.).

Yerinde basınç deneyinin diğer boyutlara uygulanmasında kullanılan diğer bir formül Concrete Society, 1988, BS1881'e göre elde edilir ve herhangi bir çaptaki karot numunenin eşdeğer boyuttaki küp numune cinsinden ifadesinde kullanılabilen bağıntıdır. Ancak bu ifade daha çok yüksekliği çapından farklı olan karot

numunelerin basınç dayanımlarını standart küp dayanımına dönüştürmek için kullanılır. Bu bağıntıyı (2.2) deki gibi özetleyebiliriz [17].

$$f_{y,küp} = \frac{2,5}{1,5 + \frac{1}{\lambda}} \times f_{\lambda,d} \quad (2.2)$$

$f_{y,küp}$: Yerinde dayanım, küp numune cinsinden

$f_{\lambda,d}$: λ narinliğine sahip karotun basınç dayanımı

λ : Karot narinlik oranı $\lambda = l/d$, l = karot yüksekliği, d = karot çapı

Bu konu ile ilgili yapılan bir diğer araştırmada Kırılma mekaniği kavramından hareketle Kim ve arkadaşları, numune çapı, yüksekliği ve maksimum agrega boyutunun basınç dayanımı üzerindeki etkisini (2.3) bağıntısı ile açıklayabiliriz.

$$f_o = \alpha \cdot f_s + [(B \cdot f_s) / (\sqrt{1+d} \cdot (h/d - \beta) / \lambda_o \cdot da^a)] \quad (2.3)$$

Aynı araştırma kapsamında maksimum agrega boyutunu ‘da’ ve basınç dayanımı büyüklüğünün f_s etkilerinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu bildirilmiştir. Burada:

f_o : $(h/d \neq 2)$ olan numunenin basınç dayanımı, N/mm²

f_s : Standart silindirik numunenin $(h/d = 2)$ basınç dayanımı, N/mm²

h, d : Sırası ile numunenin yüksekliği ve çapı, mm

da : Maksimum agrega boyutu, mm

B : Boyut etkisi bağıntısındaki amprik faktör

a : Mikro çatlak zonunun genişliği ile ilgili faktör ($a = 0,00055$ olarak kabul edilir)

α : Amprik faktör. Bu değer kırılma gerilmesinin yaklaşık 0,80’i kadardır.

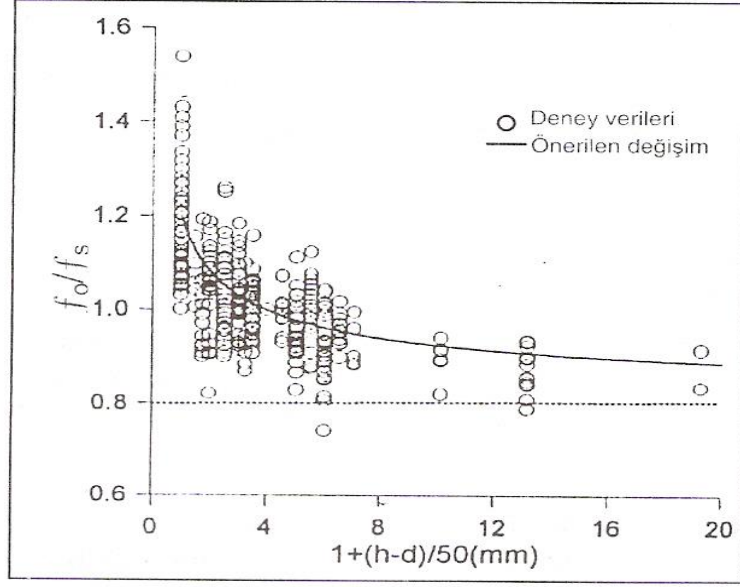
β : Silindir numunenin karakteristik boyutunu tanımlayan faktör

λ_o : Amprik faktör

Yukarıdaki bağıntı araştırmacılar tarafından tekrar gözden geçirilerek (2.4) bağıntısı ile basitleştirilmiştir:

$$f_o = 0,8 \cdot f_s + 0,4 \cdot f_s / [\sqrt{1+(h-d)/50}] \quad (2.4)$$

f_o / f_s ‘nin $1+(h-d)/50$ (mm) büyüklüğüyle değişimi Şekil 2.5 de görülmektedir [31].



Şekil 2.5: f_o / f_s Dayanım Oranının Numune Boyutları (h,d) ile Değişimi

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı olmak üzere iki beton sınıfı (45 ve 75 MPa) ve 3 farklı maksimum agrega boyutunda, 11 farklı ebatta prizmatik ahşap kalıba dökülen betondan 4 farklı boyutta küp numune ve 3 farklı çapta karot kesilerek çıkarılmış numuneler üzerinde basınç dayanım karşılaştırılması yapılmıştır. Bu numunelerde su / bağlayıcı oranı; normal dayanım sınıfı için 0,51–0,55; yüksek dayanım sınıfı için 0,33–0,35 arasında değişmektedir. Her beton sınıfı maksimum agrega boyutuna bağlı olarak 3 seri beton halinde üretilmiştir. Her seri için 195 dm³ beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Maksimum agrega çapları 12,22 ve 32 mm olarak kullanılmıştır. Üretimlerde yüksek dayanımlı beton sınıfı için bağlayıcı madde olan çimentonun yanında ilave olarak silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanının miktarı çimento dozajının % 5'i olarak seçilmiştir. Üretimlerde akışkanlığı sağlamak için hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi üretim sırasında yapılan çökme miktarı 16–20 cm arasında olacak şekilde her beton sınıfı için ayrı miktarlarda üretime ilave edilmiştir. Deneysel çalışmanın başlangıcında ön üretim betonları hazırlanarak istenilen dayanım sınıfı elde edilmeye çalışılmıştır. Ön üretimlerden sonra esas karışımlar hazırlanarak gerçek üretimlere geçilmiş ve bu numunelerin 28 günlük basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Numuneler başlıklama ve kuruma işlemi için 33. gün basınç testine tabii tutulmuşlardır.

3.1 Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

3.1.1 Çimento

Üretimlerde Set Çimento Fabrikası'na ait PÇ 42,5 tipinde çimento kullanılmıştır. Çimentonun basınç dayanımı ve fiziksel özellikleri ile kimyasal özellikleri üretici firmadan elde edilmiştir. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri ile basınç dayanımları sırasıyla Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1: Çimentonun Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

			Çimento
Fiziksel özellikler	Özgül Ağırlık (g/cm ³)		3,13
	İncelik	45µ'dan geçen (%)	-
		Blaine (m ² /kg)	328
	Basınç Dayanımı, MPa	2gün	27
		7-gün	43,4
		28-gün	59
	Priz süresi (saat:dak)	Başlama	2:40
		Bitme	4:00
Kimyasal özellikler	Serbest kalsiyum oksit (CaO) (%)		63,24
	Magnezyum oksit (MgO) (%)		1,12
	Sülfür trioksit (SO ₃) (%)		2,82
	Klor (Cl) (%)		0,03
	Potasyum oksit (K ₂ O) (%)		0,78
	C ₃ A (%)		8,36
	Çözünmeyen kalıntı (%)		0,64
	Kızdırma kaybı (%)		2,75

3.1.2 Silis dumanı

Deneylerde çimentoya ek olarak silis dumanı da kullanılmıştır. Silis dumanı çimento dozajının % 5'i olarak seçilmiştir. Silis dumanının özgül ağırlığı 2,24 gr / cm³ bulunmuştur. Silis dumanına ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.2 ve 3.3 de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Tipik Bir Silis Dumanının Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşen	Ağırlıkça Yüzde	Kimyasal Bileşen	Ağırlıkça Yüzde
SiO ₂	81,4	MgO	1,48
Al ₂ O ₃	4,47	SO ₃	1,35
Fe ₂ O ₃	1,4	Alkali	0,96
CaO	0,82		

Tablo 3.3: Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

Agrega	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	90 µ'luk elekten geçen %	45 µ'luk elekten geçen %	Blaine Özgül Yüzeyi (m ² /kg)
Silis Dumanı	2,24	99,96	83	350

3.1.3 Agregalar

Deneylerde iri agrega olarak kırmataş 1, kırmataş 2 ve kırmataş 3 kullanılmıştır. İnce agrega olarak doğal kum ve kırma taş tozu kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri ve elek analizleri Tablo 3.4 de gösterilmektedir.

Tablo 3.4: Agregaların Elek Analizi

Elek Açıklığı	Doğal Kum	Kırma Kum	K.T.1	K.T.2	K.T.3
16	100	100	100	100	100
8	100	100	100	82	5
4	100	92	65	8	1
2	100	56	7	0	0
1	100	36	1	0	0
0.5	99	24	-	-	-
0.25	8	17	-	-	-
0,075(No.200)	0,9	10,6	-	-	-
Su emme (%)	0,8	1,4	0,6	0,4	0,5
Özgül Ağırlık(gr/cm ³)	2,62	2,68	2,71	2,72	2,75

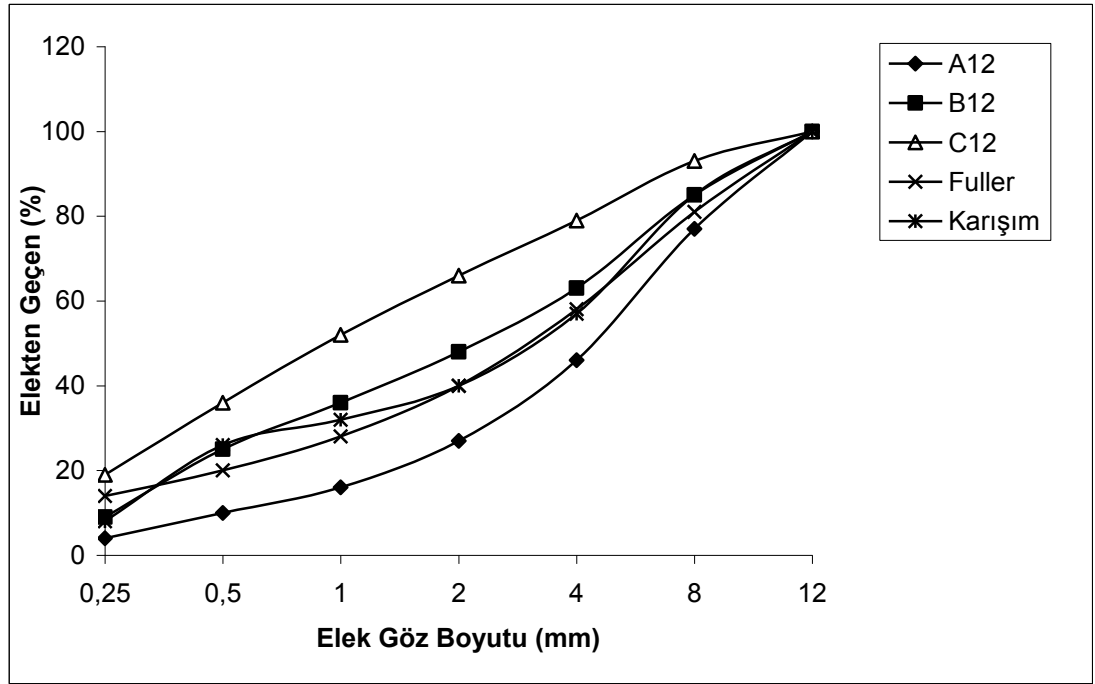
3.1.4 Kimyasal katkılar

Beton üretimleri sırasında su ihtiyacını yüksek oranda azaltan, yeni nesil bir hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi olan ve YKS Degussa firması tarafından üretilen, Glenium 51 isimli akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu katkı modifiye edilmiş olup klor içermemektedir.

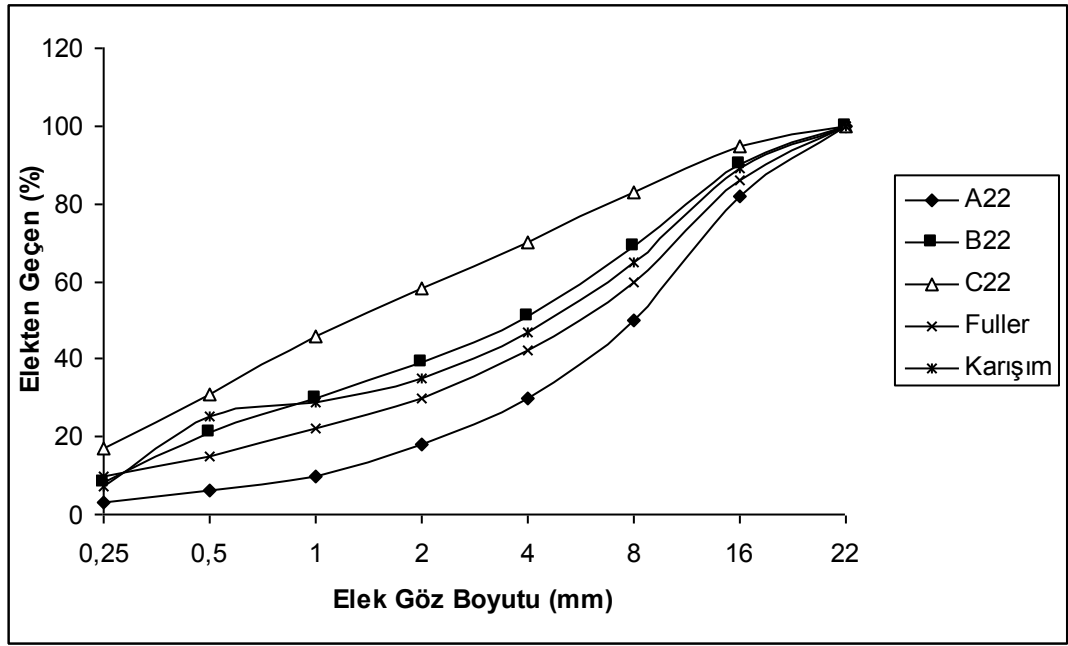
3.2 Beton Karışımları

Bu çalışma kapsamında 3 normal dayanımlı 3' ü yüksek dayanımlı toplam 6 farklı beton karışımı üretilmiştir. Bu beton sınıflarına ait dayanımı elde etmek için her birine ait olmak üzere toplam 6 kontrol karışımı önceden hazırlanmış olup toplamda 12 karışım üretilmiştir. Ön karışım betonlarına ait malzeme miktarları ve 150 mm küp cinsinden basınç dayanım değerleri Tablo 3.5 de gösterilmiştir. Her beton serisinde en büyük agrega boyutu 12,22 ve 32 mm olarak değişmektedir. Normal dayanımlı beton sınıfında su / çimento oranı 0,51–0,55; yüksek dayanımlı beton sınıfında 0,35–0,37 arasında tutulmuştur. Yüksek dayanımlı beton sınıfı için çimentonun yanında bağlayıcı ve yüksek dayanım sağlayan mineral katkı olarak silis dumanı çimento dozajının % 5 kadar ilave edilmiştir. Çimento ile öğütülmüş silis dumanının ikame edilmesi sırasında karışıma giren toplam su miktarı sabit tutulduğu

için su / bağlayıcı oranı 0,33-0,35 arasında seçilmiş ve hap solmuş hava miktarı ise TS 802 den alınmıştır. Katkı miktarı bütün bileşimler için istenilen çökme değeri 16-20 cm sahip beton elde edilebilmesi için deneme betonları ile belirlenmiştir. Agrega karışımı TS 706'da belirtilen B8-C8, B16-C16, B32-C32 referans eğrileri arasında kalacak şekilde maksimum agreg a boyutuna bağlı logaritmik ifadeler ile belirlenmiştir. Buna göre karışım oranları maksimum agreg a boyutu 12 mm olan karışım da doğal kum % 17, kırma kum % 40 ve kırmataş 1 'de % 43; maksimum agreg a boyutu 22 mm olan karışım da doğal kum % 18, kırma kum % 30, kırmataş 1 % 26 ve kırmataş 2'de % 26; maksimum agreg a boyutu 32 mm olan karışım da doğal kum % 16, kırma kum % 30, kırmataş 1 % 20, kırmataş 2 % 17 ve kırmataş 3'de % 17 olarak belirlenmiştir ve granülometri eğrileri Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'de gösterilmektedir. Tablo 3.6 da üretimlerin 1m³ için teorik bileşim değerleri verilmiştir.



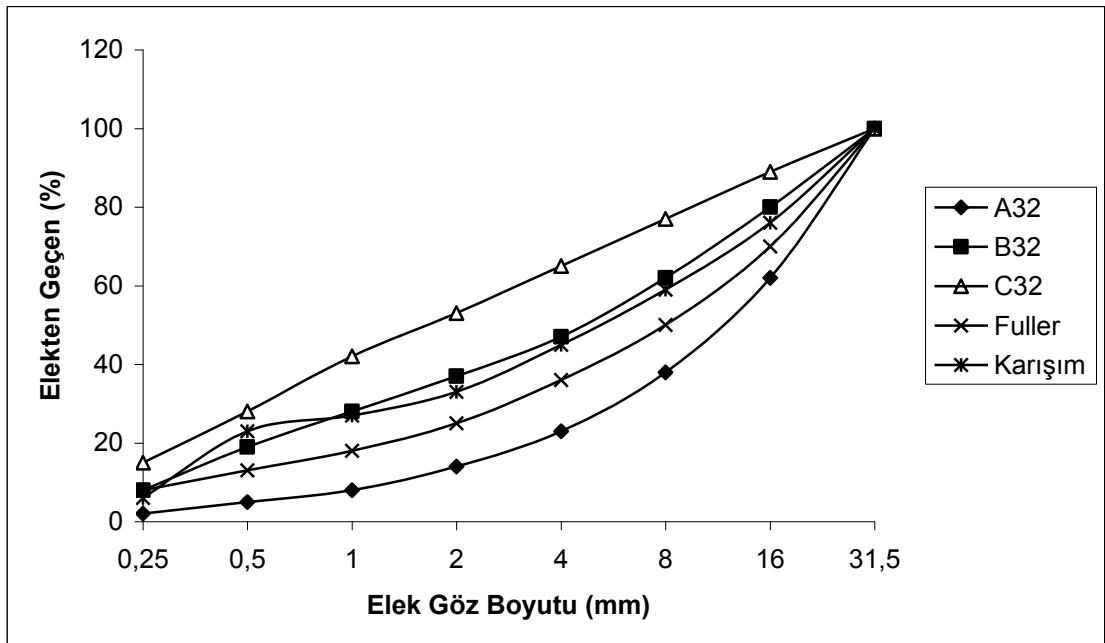
Şekil 3.1: Dmaks:12mm olan Agreg a Karışımının Granülometri ve Referans Eğrisi



Şekil 3.2: Dmaks:22mm olan Agrega Karışımının Granülometri ve Referans Eğrisi

Bu karışımlarda referans eğrileri olarak TS 706'da belirtilenlere ilaveten Fuller eğrileri de ilave edilmiştir. Fuller parabolü (3.1) bağıntısı ile elde edilir.

$$p=100*(d/D)^{1/2} \quad (3.1)$$



Şekil 3.3: Dmaks:32mm olan Agrega Karışımının Granülometri ve Referans Eğrisi

Tablo 3.5: Deneme Beton Karışım Bileşimleri (kg / m³) Ve Basınç Dayanımları

	Deneme karışımı 1			Deneme karışımı 2		
Bileşen (kg)	Y.D.32	Y.D.22	Y.D.12	Y.D 32	Y.D 22	Y.D 12
Çimento	440	460	480	475	485	500
Su	170	170	170	175	175	175
Kimyasal Katkı	3,52	3	4,02	3,32	3,88	3,5
Silis Dumanı	22	23	-	23,75	24,25	25
Doğal Kum	271	307	290	272	300	281
Kırma Kum	520	524	698	520	512	677
Kırmataş 1	350	459	759	351	448	735
Kırmataş 2	299	461	-	299	450	-
Kırmataş 3	302	-	-	303	-	-
Su / Çimento	0,39	0,37	0,35	0,37	0,36	0,35
Su / Bağlayıcı	0,37	0,35	0,34	0,35	0,34	0,33
Çökme (cm)	19	18	18	18	17	17
Basınç Dayanımı (MPa)	62,8	58,9	62,1	72	77,5	78

Tablo 3.6: Teorik Beton Bileşimleri (kg / m³) Ve Özellikleri

Bileşen (kg)	N.D 32	N.D 22	N.D 12	Y.D 32	Y.D 22	Y.D 12
Çimento	305	320	335	475	485	500
Su	170	170	170	175	175	175
Kimyasal Katkı	1,83	2,56	4,02	3,32	3,88	3,5
Silis Dumanı	-	-	-	23,75	24,25	25
Doğal Kum	296	334	315	272	300	281
Kırma Kum	571	569	758	520	512	677
Kırmataş 1	384	498	824	351	448	735
Kırmataş 2	330	500	-	299	450	-
Kırmataş 3	334	-	-	303	-	-
Su / Çimento	0,55	0,53	0,51	0,37	0,36	0,35
Su / Bağlayıcı	0,55	0,53	0,51	0,35	0,34	0,33
Çökme (cm)	18	17	17	18	17	17

3.3 Numunelerin üretimi ve hazırlanması

Çimento, silis dumanı ve diğer agregalardan oluşan kuru karışımın 60 saniye süre ile karıştırılması, 60 saniyede karma suyunun tamamının katılması, 60 saniye süre ile karıştırmaya devam edilmesi, akışkanlaştırıcı katkının ilavesi ve betonun kalıplara dökülmesi ile sona erer.

Numuneler üretimden 1 gün sonra kalıptan çıkartılarak daha önceden belirlenmiş olan kür ortamlarına alındılar. Yüksek dayanımlı beton sınıfı numuneler 3.gün kür ortamından çıkarılıp belirlenen boyutlarda beton kesme ve karot alma makinesi ile küp ve silindir numunelere dönüştürülmüştür. Aynı şekilde normal dayanımlı beton sınıfı numuneler ise 6.gün kür ortamından çıkarılıp istenilen boyutlara dönüştürülmüştür. Kesme ve karot işleminden sonra aynı gün içerisinde tekrar aynı kür ortamına yerleştirilmişlerdir.

3.4 Karot alma ve kesme işlemi

Karot alınırken taşıyıcı elemanlarda oluşan boşlukların elemanın taşıma kapasitesini azaltması nedeni ile özenle gerçekleştirilmesi gereken bir mühendislik işlemidir. Karot alımında esas olarak karşılanması gereken üç önemli istek yer almaktadır.

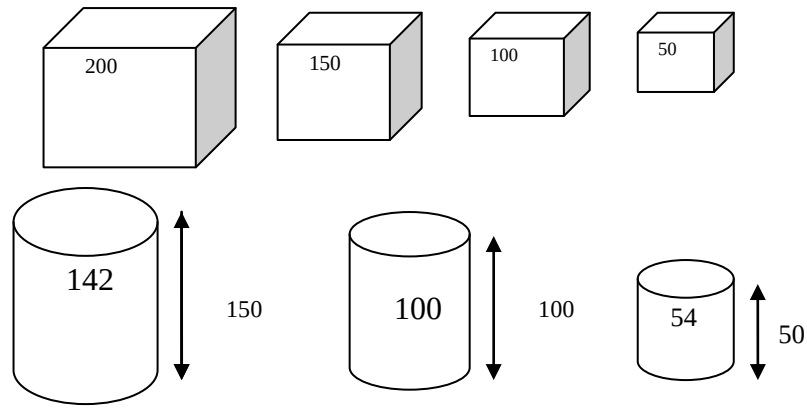
- Karotlar amaca en uygun yerlerden alınmalı
- Deneysel hataları elverdiği ölçüde en az düzeye indirebilecek örnek (karot) sayısı alınmalı
- Verilen proje koşulları çerçevesinde olabildiğince ekonomik olmalı

Karot farklı zamanda üretilen betonun yerinde dayanımını kontrole yönelik ise o betonu temsil edecek yerlerden alınmalıdır. Karot dayanımlarındaki değişkenlik katsayısını en aza indirgeyebilecek yeterli sayıda karot almanın yanı sıra karotun narinliği olarak tanımlanan (yükseklik / çap) boyutları da uygun seçilmelidir. Kesme işlemi, elmas uçları olan döner başlıkla yapılır. Makine, düzgün karot alınması bakımından, uygun ankraj sistemi ile veya vakumlu tutanak düzenekleri ile elemana tespit edilir. Bu tespit işleminden sonra kesme işlemine başlanır. Kesme sırasında makine su ile soğutulur. Kesme işleminden sonra numunelerin çap, boy ve uzunluklar ölçülür. Küp numunelerin kesilmesi sırasında kalıp yüzeyinden gelebilecek cidar etkisini engelleyebilmek için maksimum agrega çapı göz önüne alınarak kalıp yüzeyinden 50 mm içeride 4 köşesi kesilerek numuneler elde edilmiştir. Karot numunelerde ise aynı işlem 50 mm kalıp yüzeyinden içeride kalarak yapılmıştır. Numunelere ait kesim şekilleri Ek Şekil B.1 de gösterilmiştir.

3.5 Numune Boyutları ve Şekilleri

Bu çalışmada betonun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin alınan karot ve küp numunelerin üzerinde karşılaştırmak için 28. günde yapılacak deneylerde her grup için 6 adet olmak üzere 150x250x400mm, 50x150x250mm, 200x300x500mm, 100x100x100mm, 100x310x100mm, 205x310x100mm, 310x310x100mm,

350x350x50mm, 400x400x100mm ve 450x450x150 mm prizmatik numuneler üretilmiştir. Bu prizmatik numunelerden taş kesme makinesi ile numuneler 50, 100,150 ve 200 mm küp numuneler elde edilmek amacı ile kesilerek sırası ile 36, 234, 24 ve 24 adet elde edilmiştir. Diğer prizma numunelerden karot kesme makinesi yardımı ile 54x50 mm, 100x100 mm ve 142x150 mm karot numuneler sırası ile 54, 30 ve 24 adet elde edilmiştir. Bununla beraber betonun sınıfını belirlemek için her beton sınıfına ait 6 adet olmak üzere toplam 12 adet 150x150 mm standart küp numune üretilmiştir. Şekil 3.4 de numunelerin boyut ve şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Numune Şekilleri ve Boyutları

3.6 Kür koşulları

Üretilen numunelerin tamamına su kürü uygulanmıştır. İzlenen ısı işlem programında numuneler 28 gün süreyle $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kirece doymun su içinde saklanmıştır. 28 günlük numuneler kür havuzundan çıkarılıp başlıklama işlemi ve numunenin basınç deneyine kadar başlığın dayanımını alması için 5 gün havada kür uygulanmıştır.

3.7 Numune Kodlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada üretilen 6 farklı betonun belirlenen kodlamasında ilk bölüm karışımın dayanım sınıfını açıklamaktadır. Kodlamanın ikinci bölümü ise maksimum agrega boyutunu temsil etmektedir.

Örneğin; N.D.12, Normal dayanım sınıfına sahip maksimum agrega boyutu 12 mm olan beton karışımını ifade etmektedir.

3.8 Başlıklama işlemi

Karotun alt ve üst yüzeyleri 0,50 mm'den fazla girintili-çıkıntılı ise basınç dayanım deneyi için karot veya diğer küp numunelere uygun bir malzemedan başlık yapılması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılacak başlık malzemesinin elastisite modülü denenecek betonun elastik modülüne olabildiğince benzer olmalıdır. Ayrıca başlık yapımında kullanılacak malzemenin kolay uygulanır ve çabuk sertleşir olmasına dikkat etmek gerekir. Burada yüksek alüminli çimento harcı kullanılarak numune uç yüzeyleri hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanırken karot numunelerinin her iki yüzeyi başlıklanmıştır. Kesilen küp numunelerde kalıplama doğrultusuna paralel doğrultunun her iki yüzeyi başlıklanarak numuneler basınç deneyine hazır hale getirilmiştir. Başlık et kalınlığı üst ve altta (1,5–3 mm) olacak ve toplamda 6 mm'yi aşmayacak şekilde hazırlanmıştır.

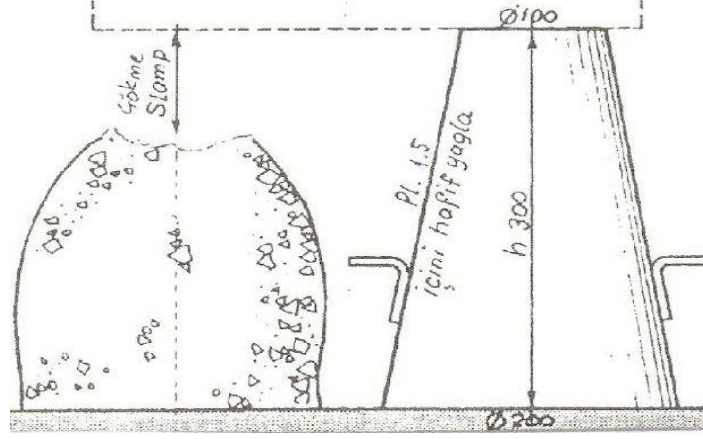
3.9 Yapılan deneyler

3.9.1 Taze beton deneyleri

Taze beton deneyleri olarak çökme deneyi ve birim ağırlık deneyi yapılmıştır.

3.9.1.1 Çökme deneyi

Çökme deneyi kesik koni şeklinde bir kalıba doldurulan taze betonun kalıp çekildikten sonraki çökme miktarını cm ya da mm olarak ölçülmesi esasına dayanır. Bu deney yöntemi ülkemizde son derece yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneyde kullanılan ekipman Şekil 3.5 de gösterilmiştir. Kesik koni şeklindeki çökme hunisi deneyden önce ıslak bir bezle silinir ve huni, nemli ve su emmez bir yüzeye yerleştirilir. Huniye taze beton üç katman halinde ve her katmanın 25 kere şişlenmesiyle yerleştirilir. Katmanların şişlenmesi her seferinde dışarıdan içeriye doğru dairesel bir yol izleyerek ve betonun yüzeyine dik bir şekilde yapılmalıdır. Orta ve üst katmanların yerleştirilmesi esnasında şiş alttaki katmana 2,5 cm civarında girmelidir. Betonun üç tabaka halinde huniye yerleştirilmesini takiben, huni yavaşça dik bir şekilde yukarı kaldırılır ve çöken betonun yanına konur. Çökme hunisinin üzerine yatay olarak konan şişleme çubuğunun alt yüzeyi ile çöken betonun üst yüzeyi arasındaki mesafe taze betonun çökme değeri olarak not edilir. Tüm deney, numunenin kaba yerleştirilmesi dahil olmak üzere 2 dakika içerisinde bitirilmelidir.



Şekil 3.5: Çökme Hunisi

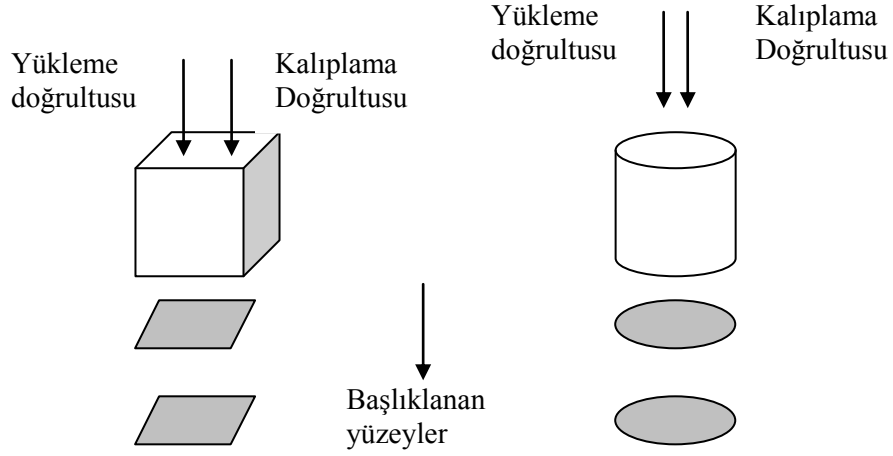
3.9.1.2 Birim ağırlık deneyi

Taze betonun birim ağırlığı (yoğunluğu) belirli bir hacimdeki betonun ağırlığının ölçülmesi ile saptanır. Burada iç hacmi 8 dm³ olan birim ağırlık kabına üretilen beton taze halde iken yerleştirilip şişleme çubuğu vasıtası ile sıkıştırma yapılır ve yerleşmiş taze betonun ağırlığının kabın iç hacmine bölünmesi ile betonun birim ağırlığı bulunur.

3.9.2 Sertleşmiş beton deneyleri

3.9.2.1 Basınç deneyi

Beton basınç deneyi 15 cm veya 20 cm boyutlarındaki standart küp numuneler veya çapı 15 cm boyu 30 cm olan standart silindir numuneler kullanılarak saptanır. Basınç deneyi bütün numunelerde 33. gün yapılmıştır. Deneyler 54, 100 ve 142 mm çaplı karot numuneler ve 50, 100, 150 ve 200 mm boyutlu küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler 300 tonluk Alşa marka pres makinesinde ve 152 mm çaplı yükleme bloğu altında deneye tabii tutulmuşlardır. Şekil 3.6 da numunelere ait yükleme ve kalıplama doğrultuları gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Numunelerin Basınç Yükleme Doğrultuları

Yalnız 200x200 mm küp numunelere Amsler marka 500 tonluk kapasiteli ve 210 mm çaplı yükleme bloğu altında basınç uygulanmıştır. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken küp numuneler dahil bütün numune boyut ve biçimlerinde kalıplama doğrultusunda yükleme uygulanmış, küp numuneler cidar etkisini ortadan kaldıracak şekilde 50 mm küp kenarından içeride kesilmiştir. Basınç makinesinde bütün numunelere sabit bir yükleme hızında olacak şekilde yükleme işlemi yapıp okunan değer P (KN), basınç kuvvetinin uygulandığı alan A (mm²) olmak suretiyle basınç dayanım değerleri σ_b (MPa) olarak (3.2) bağıntısından hesaplanır.

$$\sigma_b = P / A \text{ (MPa)} \quad (3.2)$$

Şekil 3.7 ve 3.8 de görülen 300 ve 500 ton kapasiteli basınç makineleri ile 6 kgf /cm².sn'lik sabit yükleme hızı uygulanmıştır. Buna göre her numune boyutuna göre uygulanan yükleme hızları Tablo 3.7 de gösterilmiştir

Tablo 3.7: Numunelere Ait Yükleme Hızı Değerleri

Numune Biçimi	Numune Boyutu (mm)	Yükleme Hızı (kg/sn)
Karot	54x50	157
	100x100	628
	142x150	1413
Küp	50	200
	100	800
	150	1800
	200	3200



Şekil 3.7: 300 Tonluk Basınç Deney Aleti



Şekil 3.8: 500 Tonluk Basınç Deney Aleti

4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

4.1.1 Birim ağırlık ve kıvam deneyi

Üretilen betonlar kalıplara yerleştirilmeden önce, silindir şeklinde hacmi bilinen bir kap içerisine yerleştirilerek taze beton birim ağırlığı bulundu. Tablo 4.1 de üretilen betonların birim ağırlıkları, çökme değerleri ve gerçek bileşimleri verilmektedir.

Tablo 4.1: Gerçek Beton Bileşimleri (kg/m³) Ve Özellikleri

Bileşen (kg)	N.D 32	N.D 22	N.D 12	Y.D 32	Y.D 22	Y.D 12
Çimento	304	319	334	473	484	500
Su	169	170	170	174	175	175
Kimyasal Katkı	1,82	2,55	4,01	3,31	3,87	3,5
Silis Dumanı	-	-	-	23,7	24,2	25
Doğal Kum	295	333	314	271	299	281
Kırma Kum	569	568	756	518	511	676
Kırmataş 1	382	497	822	350	447	734
Kırmataş 2	329	499	-	298	449	-
Kırmataş 3	333	-	-	302	-	-
Su / Çimento	0,55	0,53	0,51	0,37	0,36	0,35
Hava (%)	2,4	2,2	1,4	1,6	2	2,1
Birim ağırlık (kg/m ³)	2382,8	2388,5	2400	2413	2393,1	2394,5
Çökme (cm)	18	17	17	18	17	17

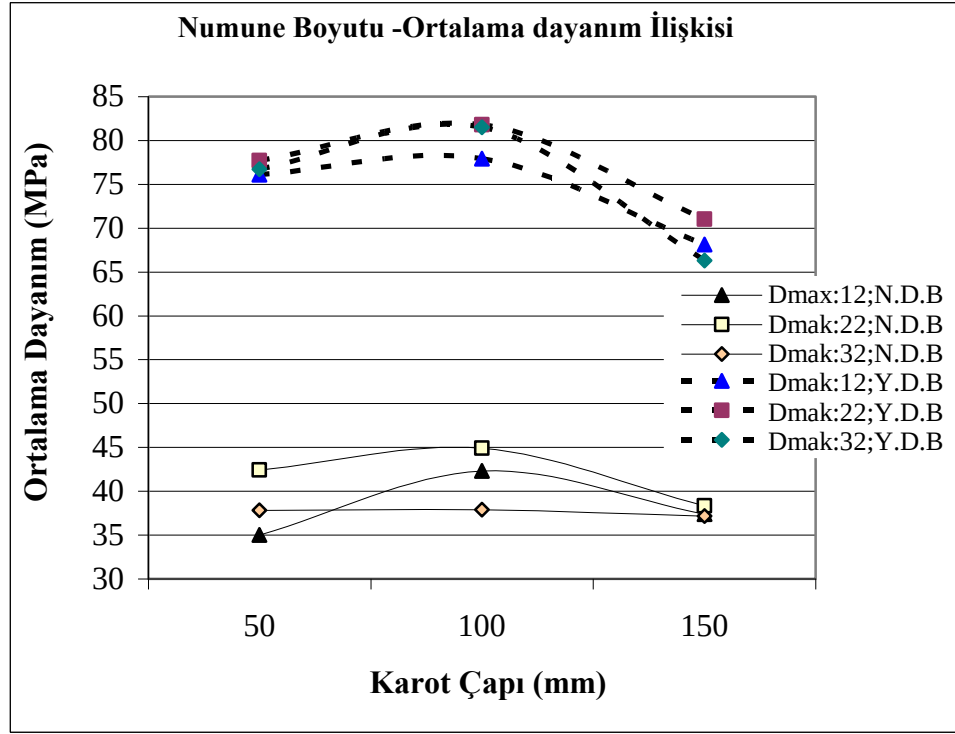
4.2 Sertleşmiş beton deney sonuçları

4.2.1 Basınç dayanım değerleri

Basınç deneyi 300 ve 500 tonluk iki farklı pres makinesinde gerçekleştirildi. 200x200 mm küp dışındaki bütün numuneler 300 tonluk pres makinesinde kırılmaları yapıldı. Küp ve karot numuneler 28. gün kür ortamından çıkarılıp başlıklama işlemleri yapıp 33. günde basınç deneyine tabii tutulmuşlardır. Numunelere ait ham dayanım sonuçları Şekil B.2 ve B.7 arasında gösterilmiştir. Bu değerler arasında vibrasyon, yerinde dökümün heterojen olması, delme ve kesme işlemindeki aşırı örselenme, başlık hazırlamadaki dikkatsizlik v.b sebeplerden dolayı oluşan anomali değerler çıkarılarak 28 günlük basınç dayanım değerleri numune boyutu, maksimum agrega çapına bağlı olarak MPa cinsinden Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 de gösterilmektedir.

Tablo 4.2: Karot Numunelerin Boyutları Ve 28 Günlük Basınç Dayanım Değerleri

Numune Boyutu (mm)	En Büyük Agrega Çapı (mm)	Numune Kodu	Numune Sayısı	Ortalama Dayanım (MPa)
54	32	Y.D.32	7	76,7
100			5	81,5
142			4	66,3
54	22	Y.D.22	7	77,7
100			5	81,8
142			4	71
54	12	Y.D.12	8	76,1
100			5	77,9
142			4	68,1
54	32	N.D.32	8	37,8
100			5	37,9
142			4	37,1
54	22	N.D.22	9	42,4
100			5	44,9
142			4	38,3
54	12	N.D.12	9	35
100			5	42,3
142			4	37,4

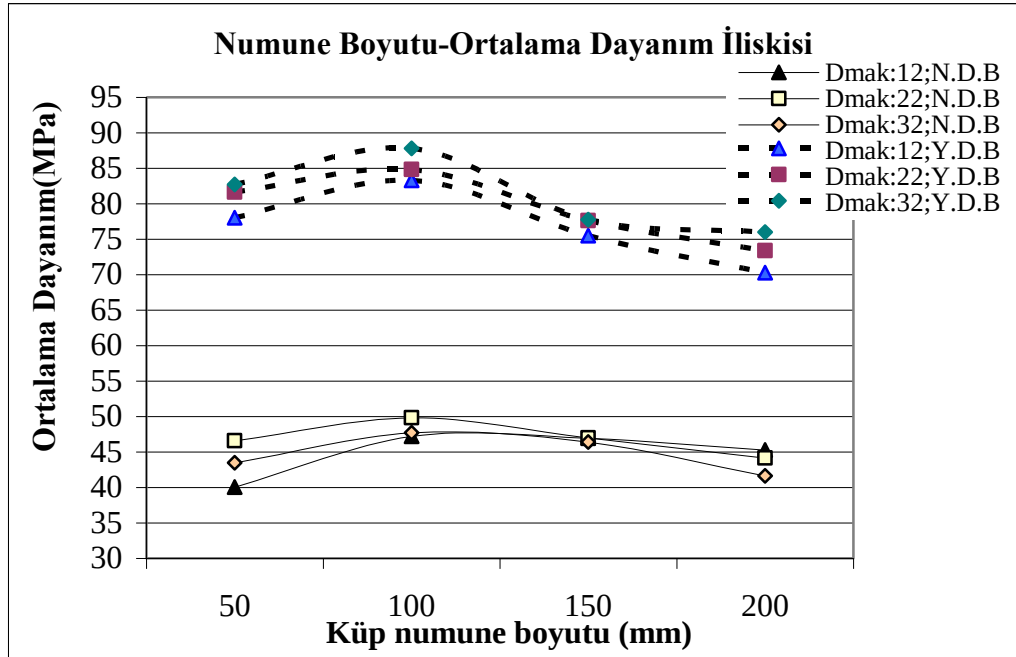


Şekil 4.1: Karotlara Ait 28.Günlük Ortalama Basınç Dayanım Değerleri

Karot numunelere ait ortalama dayanımın numune boyutuna bağlı değişimi Şekil 4.1 de gösterilmiştir. Tablo 4.1 de görüldüğü gibi en küçük dayanım değeri numune çapının artışı ile en büyük karot çapında görülmüştür. Bunu küçük çaplı karot ve en son 100 mm çaplı karot izlemektedir. Boyutlar arası dayanım farkları normal dayanım sınıfında maksimum agrega çapı 12, 22 ve 32 mm sınıfına bağlı olarak en yüksek değeri 6 MPa civarında iken, yüksek dayanım sınıfında bu değer 15 MPa kadar çıkmaktadır. 54–100 mm Karot dayanımları arasındaki fark 100–142 mm çaplı karotlar arasındaki farka oranla daha azdır. Bu değerler literatürde belirtilen değerlere uygun olarak numune boyutunun artışı ile dayanımın azaldığını göstermektedir. En yüksek dayanımın maksimum agrega çapına göre her iki dayanım sınıfında 22 mm agrega grubunda olduğu görülmüştür.

Tablo 4.3: Numune Boyutları ve 28. Günlük Basınç Dayanım Değerleri

Numune Boyutu (mm)	En Büyük Agregat Çapı (mm)	Numune Kodu	Numune Sayısı	Ortalama Dayanım (MPa)
50	32	N.D.32	5	43,5
100			4	47,5
150			4	46,4
200			3	41,6
50	22	N.D.22	6	46,6
100			3	49,8
150			4	47
200			4	44,1
50	12	N.D.12	5	40
100			4	47,2
150			4	46,9
200			4	45,3
50	32	Y.D.32	5	82,7
100			3	87,8
150			4	77,8
200			3	76
50	22	Y.D.22	6	81,6
100			4	84,8
150			4	77,6
200			4	73,4
50	12	Y.D.12	6	78
100			4	83,3
150			4	75,5
200			4	70,3

**Şekil 4.2:** Küp Numunelere Ait 28.Günlük Ortalama Basınç Dayanım Değerleri

Küp numunelere ait ortalama dayanım değerlerinin numune boyutuna bağı olarak değişimi Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Tablo 4.3 de görüldüğü üzere en küçük dayanım değeri 200 mm küp numunede, en büyük değerin ise 100 mm küp numunede olduğu görülmüştür. Burada numune boyutunun artışına paralel olarak basınç dayanımının arttığı yalnız küçük boyuttaki 50 mm küpün bu kuralın dışında kaldığı görülmüştür. Boyutlar arasındaki en küçük ve en büyük dayanım farkı normal dayanım sınıfında değeri 7 MPa iken, yüksek dayanım sınıfında bu değeri 13 MPa civarında değişmektedir. En yüksek dayanım değeri yüksek dayanım sınıfında maksimum agrega çapı 32 mm, normal dayanım sınıfında ise 22 mm agrega grubunda görülmüştür.

4.2.2 Yerinde basınç dayanımının hesaplanması

4.2.2.1 Karot numune dayanımlarının değerlendirilmesi

Yerinde küp veya silindir basınç dayanımı, standart numune boyutları cinsinden ifade edilebilen, ancak standart numunenin standart sıkıştırma, standart kür gibi koşullarını gözetmeyen efektif bir büyüklüktür. Bu büyüklük betonun ‘yerinde dayanımı’ni ifade etmek için kullanılır. Bu konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalardan Neville boyut etkisine bağı ampirik formüller yardımı ile mevcut karot numune değerlerinin 150 mm standart küp numune ile karşılaştırılması yapılacaktır. Bu çalışmada standart numune kesme işlemleri ile elde edilen 150 mm küp numune değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bununla ilgili olarak Tablo 4.4 de mevcut karot çapları ve narinlik oranları için Neville bağıntısından hesaplanan “ $f_{15\text{küp}} / f_{\text{karot}}$ ” oranları verilmiştir.

Tablo 4.4: Çeşitli Karot Çaplarına Karşı Gelen Boyut Düzeltme Faktörleri (Neville,1996)

Karot Çapı (mm)	Karot Yüksekliği (l)	$\lambda = l / d$	$f_{15\text{küp}} / f_{\text{karot}}$
54	56	1,037	0,954
100	106	1,062	1,00
142	156	1,098	1,066

Numune çaplarına ve boyutuna göre belirlenen Tablo 4.4 deki katsayılar karot çapına karşılık gelen dayanım değerleri ile çarpımından elde edilen standart küp numune değerleri Tablo 4.5 de gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Neville (1996) Bağıntısına Göre Standart Kp Dayanımı Değerleri

Karot apı (mm)	Maksimum Agregat apı (mm)	Karot Dayanımı (MPa)	Neville Bağıntısına ait Dayanım Değeri $f_{kp,150}$ (MPa)	Elde Edilen 150 mm Kp Dayanımı (MPa)
54	32	76,7	73,2	77,8
54	22	77,7	74,1	77,6
54	12	76,1	72,6	75,5
100	32	81,5	81,5	77,8
100	22	81,8	81,8	77,6
100	12	77,9	77,9	75,5
142	32	66,3	70,7	77,8
142	22	71	75,7	77,6
142	12	68,1	72,6	75,5
54	32	37,8	36,1	46,4
54	22	37,9	36,2	47
54	12	37,1	35,4	46,9
100	32	42,4	42,4	46,4
100	22	44,9	44,9	47
100	12	38,3	38,3	46,9
142	32	35	37,3	46,4
142	22	42,3	45,1	47
142	12	37,4	39,9	46,9

Yukarıdaki Tablo 4.5 den görüldüğü üzere mevcut sonuçlar ile Neville ampirik boyut bağıntısından elde edilen değerler arasında yüksek dayanım sınıfında 54 ve 100 mm karot çapları ile, normal dayanım sınıfında 100 mm karot numunede uyum sağladığı grlmştir. Her iki dayanım sınıfı göz önüne alındığında 100 mm karotların yerinde basınç dayanımını belirlemede uygun olacağı belirlenmiştir.

Bu değerler Concrete Society, BS 1881'e göre eşdeğer boyuttaki küp numunelerin dayanım değerleri ile yapılan karşılaştırılmasında karot çaplarına bağlı karot narinlik düzeltme faktörleri Tablo 4.6 da gösterilmiştir. Bu değerlerin her karot çapına karşılık gelen dayanım değerleri ile çarpımından elde edilen değerler Tablo 4.7 de gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Concrete Society'e Göre Karot Narinlik Düzeltme Faktörleri

Karot Çapı (mm)	l	d	$\lambda = l / d$	$f_{küp} / f_{karot}$
54 mm	56	54	1,037	1,015
100 mm	106	100	1,060	1,023
142 mm	156	142	1,099	1,037

Tablo 4.7: Concrete Society'e Göre Eşdeğer Boyuttaki Küp Dayanım Değerleri

Karot Çapı (mm)	Maksimum Agrega Çapı (mm)	Karot Dayanımı (MPa)	Concrete Society'e ait Küp Dayanım Değeri $f_{küp}$ (MPa)	Eşdeğer Boyuttaki Küp Dayanımı (MPa)
54	32	76,7	77,9	82,7
54	22	77,7	78,9	81,6
54	12	76,1	77,2	78
100	32	81,5	83,4	87,8
100	22	81,8	83,7	84,8
100	12	77,9	79,7	83,3
142	32	66,3	68,8	77,8
142	22	71	73,6	77,6
142	12	68,1	70,6	75,5
54	32	37,8	38,4	43,5
54	22	37,9	38,5	46,6
54	12	37,1	37,7	40
100	32	42,4	43,4	47,5
100	22	44,9	45,9	49,8
100	12	38,3	39,2	47,2
142	32	35	36,3	46,4
142	22	42,3	43,9	47
142	12	37,4	38,8	46,9

Tablo 4.7 den görüldüğü gibi Concrete Society, BS 1881 bağıntısından elde edilen karot düzeltme faktörünün eşdeğer boyuttaki küp numunelerinin değerlerinin elde edilmesinde yüksek dayanım sınıfında 54 ve 100 mm çaplı karotların, normal dayanım sınıfında ise 100 mm karotların bu bağıntıya göre elde edilen değerler ile uyum sağladığını belirlenmiştir. Her iki bağıntı göz önüne alındığında 100 mm karot numunelerin standart küp numune dayanımlarının belirlenmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

4.2.2.2 K p dayanımlarının değerlendirilmesi

50, 100, 150 ve 200 mm k p ler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen değerler Neville (1996) ampirik bağıntısından mevcut boyutlardaki küp numunelerin 150 mm standart küp numune cinsinden karşılaştırılması yapılmıştır. Neville’e ait ampirik bağıntı yardımı ile her numune boyutuna ait boyut düzeltme faktörleri Tablo 4.8 ve bu değerlerin çarpımından elde edilen standart küp numune değerleri Tablo 4.9 da verilmiştir.

Tablo 4.8: Neville (1996) Bağıntısına Göre K p Boyutu Düzeltme Faktörleri

	“f k�p / f k�p,150” oranları		
Numune Boyutu (mm)	50 mm	100 mm	200 mm
Boyut Düzeltme Katsayısı	1,08	1,02	0,96

Tablo 4.9: Neville (1996) Bağıntısına Göre Standart K p Dayanım Değerleri

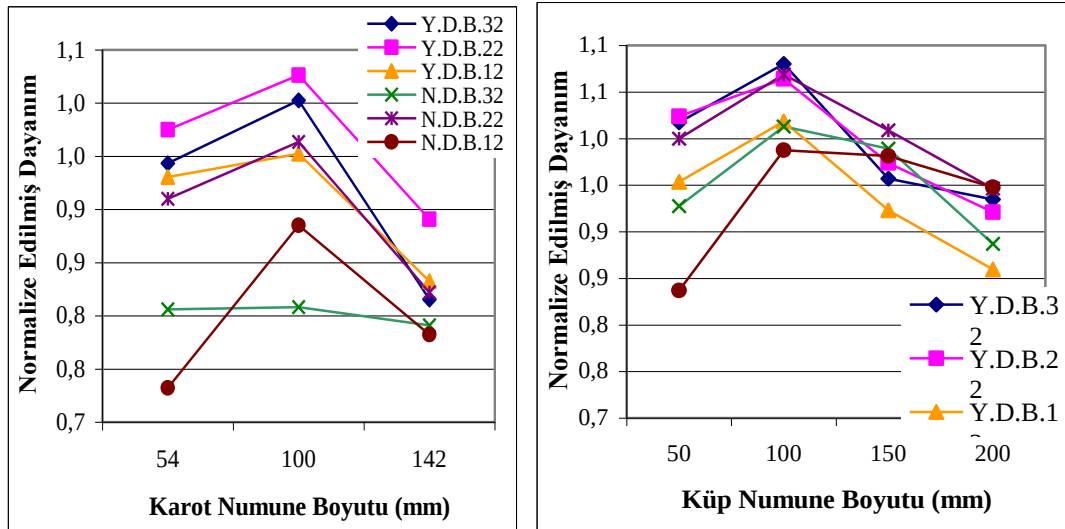
K�p Boyutu (mm)	K�p Yüksekliği (mm)	Maksimum Agrega �apı (mm)	K�p Dayanımı (MPa)	Neville Bağıntısına ait Dayanım Değeri f�k�p,150 (MPa)	Elde Edilen Standart K�p Dayanımı (MPa)
50	50	32	82,7	76,6	77,8
50		22	81,6	75,6	77,6
50		12	78	72,2	75,5
100	100	32	87,8	86,1	77,8
100		22	84,8	83,1	77,6
100		12	83,3	81,7	75,5
200	200	32	76	79,2	77,8
200		22	73,4	76,5	77,6
200		12	70,3	73,2	75,5
50	50	32	43,5	40,3	46,4
50		22	46,6	43,1	47
50		12	40	37,0	46,9
100	100	32	47,1	46,2	46,4
100		22	49,8	48,8	47
100		12	47,2	46,3	46,9
200	200	32	41,6	43,3	46,4
200		22	44,1	45,9	47
200		12	45,3	47,2	46,9

Tablo 4.9 dan görüleceği üzere yüksek dayanım sınıfında 50 ve 200 mm, normal dayanım sınıfında ise 100 ve 200 mm k p numunelerden elde edilen değerler Neville boyut bağıntısı ile uyuşmaktadır. Yüksek dayanım sınıfında ise 100 mm küplere ait standart k p değerleri beklenenin altında, normal dayanım sınıfında ise

50 mm küp numunelere ait standart küp değerlerinin beklenenin üstünde çıktığı gözlemlenmiştir. Her iki dayanım sınıfında Neville (1996) bağıntısı yardımı ile standart küp numunenin (150 mm küp) elde edilmesinde 200 mm küp numune değerlerinin uyumlu olduğu ve bu numunelerin yerinde dayanım hesaplanırken kullanılmasının daha uygun olabileceğini söylenebilir.

4.2.3 Basınç dayanımının agrega çapına göre dağılımı

Agrega en büyük boyutu ve numune boyutunun basınç dayanımına birlikte etkisini belirlemek amacı ile elde edilen basınç dayanımları (Tablo 4.2 ve 4.3 de verilen), her bir betonun 28 günlük 100x100x100 mm yüzeyi kesilmeyen numunelerin basınç dayanımları ile bölünerek normalize edilmiş ve Şekil 4.3 de her bir agrega boyutu için numune boyutu ile değişimi normal ve yüksek dayanım sınıfı betonlar için verilmiştir.



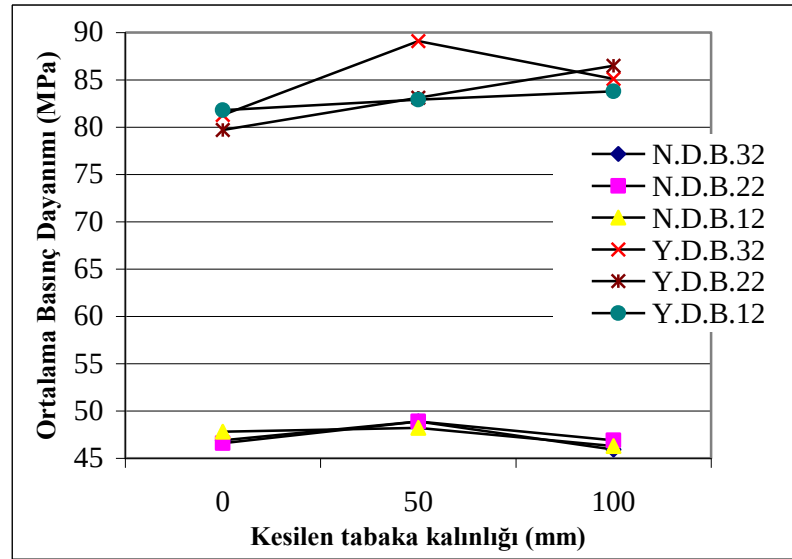
Şekil 4.3: Normalize Edilmiş Basınç Dayanımının En Büyük Agrega Boyutu İle Değişimi

Ayrıca, 100x100x100 mm lik küp şeklinde kesilerek çıkarılan numunelerde, numunenin kenarının kalıp yüzeyinden olan uzaklığının basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Ek Şekil B.1 den görüleceği üzere kalıp yüzeyinden belirli mesafelerden kesilen numunelerin maksimum agrega çapı göz önüne alınarak elde edilen ortalama dayanım değerlerinin kesilen tabaka kalınlıklarına göre değişimi incelenmiştir. Burada amaç numunenin kesilen bu bölgelerinde agrega dağılımının kesim yüzeyine bağlı olarak dayanıma olumsuz bir etkinin söz konusu olup

olmadığını görmektir. Bu değerler dayanım sınıflarına göre kesilen numune dayanımlarının ortalamaları alınarak Tablo 4.10 ve Şekil 4.4 de verilmiştir.

Tablo 4.10: Kesim Tabakası Kalınlığına Bağlı Ortalama Dayanım Değişimi

Kesilen tabaka kalınlığı (mm)	Numune Kodu	Ortalama Dayanım (MPa)	Maksimum Agrega Boyutu (mm)
0	N.D.B.32	46,9	32
50		48,9	
100		45,9	
0	N.D.B.22	46,6	22
50		48,9	
100		46,9	
0	N.D.B.12	47,8	12
50		48,2	
100		46,3	
0	Y.D.B.32	81,3	32
50		89,1	
100		85,1	
0	Y.D.B.22	79,7	22
50		83,1	
100		86,5	
0	Y.D.B.12	81,8	12
50		82,9	
100		83,8	



Şekil 4.4: Kesilen Yüzey Kalınlığına Bağlı Dayanım Değişimi

Tablo 4.10 ve Şekil 4.4 de verilen değerlere bakıldığında normal dayanımlı betonlarda 100 mm küp numunede kesim yüzey kalınlığına bağlı olarak 50 mm uzaklıkta cidar etkisinin ortadan kaldırıldığı, ancak 100 mm uzaklıkta, kalıpların tam

orta bölgesinde daha heterojen olduğu görülmüştür. Yüksek dayanımlı betonlarda ise bir agrega çapı (32 mm) dışında kalıptan uzaklaştıkça dayanımın arttığı görülmüştür.

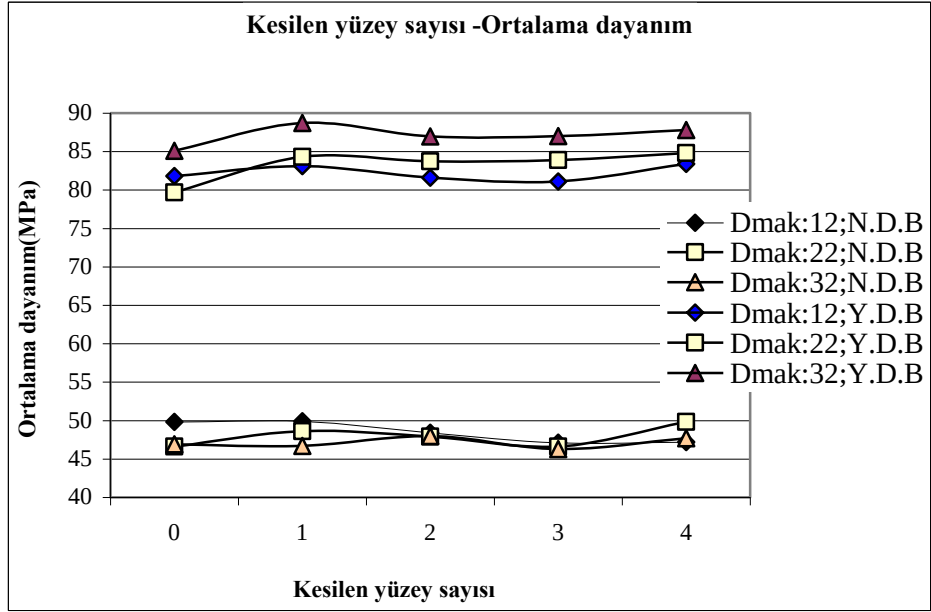
4.2.4 Cidar etkisi

Burada ikili bir durum söz konusudur. Kesilerek çıkarılan numunelerde hem kesim işleminin oluşturduğu çatlaklar ve agrega oynamasından doğan kesim hasarı (örsellenme), hem de kesilen yüzeylerde, kalıp kenarından yeterince uzak kalınarak (burada en az 50 mm) kalıp yüzeyinde oluşan cidar etkisinin ortadan kalkması durumları mevcuttur. Bu amaçla 100x100 mm küp numunelerde kesim yüzeyi sayısına bağlı olarak basınç dayanımı değerindeki değişimler (MPa) Tablo 4.11 de gösterilmiştir.

Tablo 4.11: Kesilen Yüzey Sayısına Bağlı Ortalama Dayanımın Değişimi

Numune Kodu	Kesilen Yüzey Sayısı	Ortalama Dayanım (MPa)	Maksimum Agrega Boyutu (mm)
N.D.B.32	0	46,9	32
	1	46,7	
	2	47,6	
	3	45,8	
	4	47,7	
N.D.B.22	0	46,6	22
	1	47,4	
	2	47,8	
	3	46,3	
	4	49,8	
N.D.B.12	0	47,8	12
	1	49,8	
	2	48,4	
	3	47,1	
	4	47,3	
Y.D.B.32	0	81,3	32
	1	85,6	
	2	85,5	
	3	87	
	4	87,8	
Y.D.B.22	0	79,7	22
	1	84,3	
	2	83,7	
	3	83,9	
	4	84,8	
Y.D.B.12	0	81,8	12
	1	83,1	
	2	81,6	
	3	81,1	
	4	83,8	

Bu değerlere ait Şekil 4.5 de ortalama dayanım değişimi görülmektedir. Bu değerlere bakıldığında kesilen yüzey sayısına bağlı olarak 100 mm küp numunelerin olumsuz etkilenmediği, dayanımın kesilen yüzey sayısının artmasına paralel olarak az da olsa arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın normal dayanım sınıfında ortalama olarak % 3 oranında; yüksek dayanım sınıfında ise bu değer % 6 oranında bir artış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5: Kesilen Yüzey Sayısına Göre Ortalama Dayanımın Değişimi

4.2.5 İstatistiksel değerlendirme

4.2.5.1 Standart sapma ve değişkenlik katsayısı

Beton üretiminde sonuçların dağılımını karakterize eden büyüklüğe Standart sapma (s) adı verilir. Standart sapma düzeyinin ortalama beton dayanımının bir fonksiyonu olduğu unutulmamalıdır. Üretimin aritmetik ortalaması etrafındaki dağılımın büyüklüğünü ifade eden değere ise Değişkenlik katsayısı (V) adı verilir. V cinsinden hesaplanan hedef dayanım standart sapmaya göre bulunan değerden daha büyüktür. Her iki değer istenilen nitelikte beton üretiminde gerekli değer çiftidir. Standart sapma ve değişkenlik katsayısı ölçülen dayanımlar için (4.1) ve (4.2) bağıntısı ile hesaplanır ve bu büyüklük dikkate alınarak tekrar hedef dayanım değeri saptanır. Eğer belirgin bir farklılık söz konusu ise karışım tasarımı özenle gözden geçirilir. Bu değerlerin numune boyutuna ve şekline göre değişimi bu açıdan önem taşımaktadır.

$$s = \left[\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2 / n-1 \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

$$V = \frac{s}{\bar{f}} \times 100 \quad (4.2)$$

s: Standart sapma, MPa

$\bar{f}$: Ortalama dayanım, MPa

f_i : Numune dayanımı, MPa

n: Standart sapmaya giren numune sayısı

V: Değişkenlik katsayısı , (%)

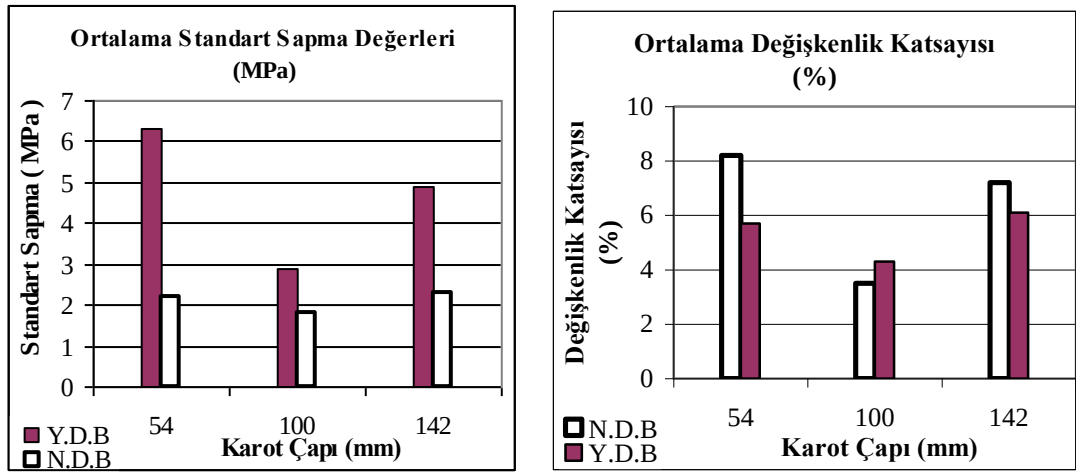
Karot ve küp numunelerin basınç dayanım değerlerine göre elde edilen standart sapma ve değişkenlik katsayısı değerleri numune boyutu ve en büyük agrega çapına bağlı olarak MPa cinsinden Tablo 4.12 ve Tablo 4.13 de verilmiştir.

Tablo 4.12: Karot Numunelerin Standart Sapma Ve Değişkenlik Katsayısı Değerleri

Numune Boyutu (mm)	Numune Kodu	Standart Sapma (MPa)	Değişkenlik Katsayısı (%)	Maksimum Agrega Boyutu (mm)
54	Y.D.B.32	6,9	8,9	32
100		4,6	5,5	
142		5,7	8,6	
54	Y.D.B.22	6,4	8,3	22
100		1,7	2,0	
142		4,2	5,9	
54	Y.D.B.12	5,5	7,3	12
100		2,4	3,0	
142		4,9	7,2	
54	N.D.B.32	2,3	6,1	32
100		1,2	3,2	
142		2,0	5,4	
54	N.D.B.22	2,1	5,0	22
100		2,2	5,0	
142		2,7	7,1	
54	N.D.B.12	2,3	6,0	12
100		1,9	4,7	
142		2,2	5,9	

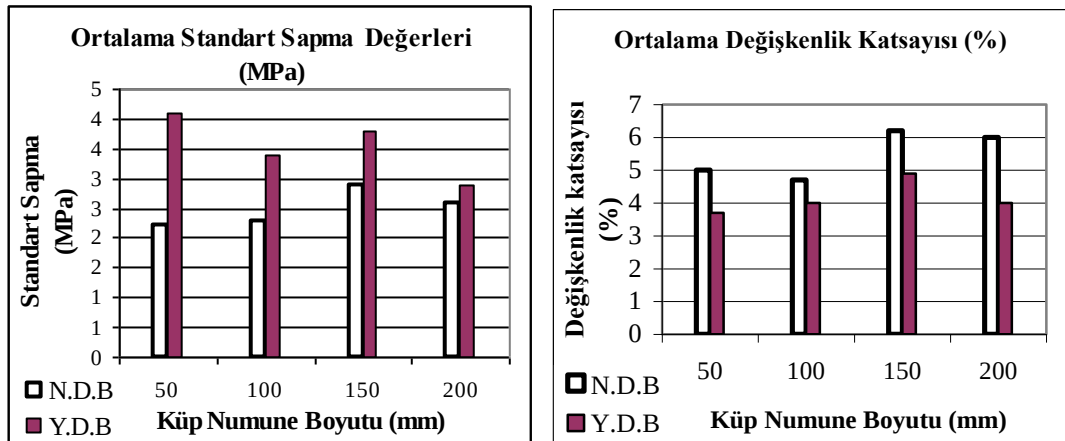
Karot numunelere ait standart sapma ve değişkenlik katsayılarının ortalama değerlerinin karot çapına göre değişimi Şekil 4.6 da gösterilmiştir. Bu değerlere göre her iki dayanım sınıfında da 100 mm'lik karot çaplarının en az değeri aldığı, numune çapının küçülmesi ile bu değerin artmaya başladığı görülmüştür. 54 mm çaplı karotta normal dayanım sınıfında standart sapma 2.2 MPa, yüksek dayanım sınıfında ise 6.3 MPa; 100 mm çaplı karotta standart sapma 1.7 MPa, yüksek dayanım sınıfında 2.9 MPa; 142 mm karotta normal dayanım sınıfında standart

sapma 2.3 MPa, yüksek dayanım sınıfında ise 4.9 MPa'dır. Değişkenlik katsayısı normal dayanım sınıfında 54 mm karotta % 5.7, yüksek dayanım sınıfında % 8.2; 100 mm karotta normal dayanım sınıfında % 4.2, yüksek dayanım sınıfında % 3.5; 142 mm karotta normal dayanım sınıfında % 6.1, yüksek dayanım sınıfında % 7.2 değerlerini almaktadırlar. Numune boyutunun azalması ile standart sapma ve değişkenlik katsayısının arttığı ancak her iki dayanım sınıfına göre en ideal değerlerin 100 mm karot numunelerde olduğu görülmüştür. 100 mm karot numunelerin yapıya fazla hasar vermemesi ve daha gerçekçi değerlerin elde edilmesi açısından karot alımında kullanılmasının uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 4.6:Karot Numunelere Ait Ortalama Standart Sapma Ve Değişkenlik Katsayısı

Küp numunelere ait standart sapma ve değişkenlik katsayıları Tablo 4.13 ve Şekil 4.7 de numune boyutlarına göre ortalama değişimi verilmiştir.



Şekil 4.7: Küp Numunelere Ait Ortalama Standart Sapma Ve Değişkenlik Katsayısı

Tablo 4.13: Küp Numunelerin Standart Sapma Ve Değişkenlik Katsayısı Değerleri

Numune Boyutu (mm)	Numune Kodu	Standart Sapma (MPa)	Değişkenlik Katsayısı (%)	Maksimum Agrega Boyutu (mm)
50	N.D.B.32	1,8	4,1	32
100		1,7	3,6	
150		2,1	4,4	
200		2,0	4,9	
50	N.D.B.22	2,7	5,7	22
100		2,2	4,4	
150		3,1	6,6	
200		2,8	6,3	
50	N.D.B.12	2,1	5,2	12
100		2,8	6,0	
150		3,6	7,7	
200		3,1	6,8	
50	Y.D.B.32	7,8	9,8	32
100		2,3	2,6	
150		6,1	7,8	
200		5,2	7,1	
50	Y.D.B.22	1,8	2,2	22
100		4,1	4,8	
150		1,8	2,3	
200		1,4	1,9	
50	Y.D.B.12	2,8	3,6	12
100		3,8	4,6	
150		3,4	4,5	
200		2,1	3,0	

Tablo 4.13 den görüldüğü gibi 50 mm küpte standart sapma ve değişkenlik katsayısı ortalama olarak normal dayanım sınıfında 2.2 MPa, % 5; yüksek dayanım sınıfında 4 MPa, % 5.2; 100 mm küpte normal dayanım sınıfında 2.2 MPa, % 4.6, yüksek dayanım sınıfında 3.4 MPa, % 4; 150 mm küpte normal dayanım sınıfında 2.9 MPa, % 6.2, yüksek dayanım sınıfında 3.8 MPa, % 4.9 ve 200 mm küpte normal dayanım sınıfında 2.6 MPa, % 6, yüksek dayanım sınıfında 2.9 MPa, % 4 olarak elde edilmiştir. En yüksek standart sapma ve değişkenlik katsayısı normal dayanım sınıfında 150 mm küpte, yüksek dayanım sınıfında 50 mm küpte olduğ  görülmüştür.

Basınç dayanımı ve standart sapma değerleri ele alınarak boyutlar arasında istatistiksel eşitliğin olup olmadığına bakıldı. Bu amaçla Tablo 4.14 ve 4.15 de Student -t- testine göre değişik boyutlardaki karot ve küp numunelerin dayanım değerleri % 95 güven düzeyinde karşılaştırmaları yapıldı. Karşılaştırılan iki ortalama dayanım hesaplanırken, her bir ortalama n_1 ve n_2 adet deney örneğinin sonucu olduğ  kabul edilerek serbestlik derecesi $(s.d) = n_1 + n_2 - 2$ bağıntısından belirlendi. Bulunan serbestlik derecelerine göre Student -t- Ek Tablo A.1 deki $t_{\alpha/2, s.d}$ sayıları alındı. Karşılaştırılan numune boyutlarına ait ortalama dayanım ve standart sapmaları sırası ile X_1, X_2, s_1, s_2 olarak -t-sayısı (4.3), (4.4) bağıntılarından hesaplandı.

$$t = \frac{X_1' - X_2'}{S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}} \quad (4.3)$$

$$\text{Burada: } S_p = \left(\frac{(n_1-1) \cdot s_1^2 + (n_2-1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right)^{1/2} \quad (4.4)$$

Buna göre deney sonuçları kullanılarak hesaplanan “t” sayısı ile ilgili istatistik tablodan alınan $t_{a/2, s.d}$ sayısı ile karşılaştırılır.

<u>Hipotez</u>	<u>Kabul Koşulu</u>	
$X_1' = X_2'$	$t < t_{a/2, s.d}$ veya $t > t_{a/2, s.d}$	(4.5)
(pozitif t)	(negatif t)	

(4.5) bağıntı kabul koşulu sağlanmıyorsa bu durumda $X_1' > X_2'$ veya $X_1' < X_2'$ olur.

Tablo 4.14: Küp Numunelerin İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması

Karşılaştırma	Serbestlik Derecesi	Student - t -	Tablodan alınan - t -	Numune Kodu	İstatistik Sonuç
50-150	8	-2,88	-2,31	N.D.B.32	Değil
100-150	6	0,48	2,45		Eşit
200-150	6	3,30	2,45		Değil
50-150	8	-1,53	-2,31	N.D.B.22	Eşit
100-150	6	1,09	2,45		Eşit
200-150	6	1,36	2,45		Eşit
50-150	8	-3,90	-2,31	N.D.B.12	Değil
100-150	6	0,11	2,45		Eşit
200-150	6	0,69	2,45		Eşit
Karşılaştırma	Serbestlik Derecesi	Student - t -	Tablodan alınan - t -	Numune Kodu	İstatistik Sonuç
50-150	8	-1,25	-2,31	Y.D.B.32	Eşit
100-150	6	3,09	2,45		Eşit
200-150	6	0,44	2,45		Eşit
50-150	8	-1,70	-2,31	Y.D.B.22	Eşit
100-150	6	3,21	2,45		Değil
200-150	6	3,69	2,45		Değil
50-150	8	-2,55	-2,31	Y.D.B.12	Değil
100-150	6	3,06	2,45		Değil
200-150	6	2,63	2,45		Değil

Tablo 4.15: Karot Numunelerin İstatiksel Olarak Karşılaştırılması

Karşılaştırma	Serbestlik Derecesi	Student - t -	Tablodan alınan - t -	Numune Kodu	İstatistik Sonuç
54-100	12	-0,09	-2,18	N.D.B.32	Eşit
100-142	7	0,74	2,37		Eşit
54-142	11	0,53	2,20		Eşit
54-100	12	-2,10	-2,18	N.D.B.22	Eşit
100-142	7	4,02	2,37		Değil
54-142	11	2,97	2,20		Değil
54-100	12	-5,95	-2,18	N.D.B.12	Değil
100-142	7	3,58	2,37		Değil
54-142	11	-1,72	-2,20		Eşit
Karşılaştırma	Serbestlik Derecesi	Student - t -	Tablodan alınan - t -	Numune Kodu	İstatistik Sonuç
54-100	12	-1,38	-2,18	Y.D.B.32	Eşit
100-142	7	4,45	2,37		Değil
54-142	11	2,63	2,20		Değil
54-100	12	-1,38	-2,18	Y.D.B.22	Eşit
100-142	7	5,37	2,37		Değil
54-142	11	1,90	2,20		Eşit
54-100	12	-0,68	-2,18	Y.D.B.12	Eşit
100-142	7	3,95	2,37		Değil
54-142	11	2,47	2,20		Değil

Tablo 4.14 ve Tablo 4.15 de görüldüğü üzere küp numunelerde yüksek dayanım sınıfında maksimum agreg a çapı 32 mm olan grupta bütün boyutlar arasında istatistiksel bir eşitlik; maksimum agreg a çapı 12 mm grupta ise bütün boyutlar arasında istatistikî bir eşitsizlik söz konusudur. Normal dayanım sınıfında yalnızca maksimum agreg a çapı 22 mm olan grupta bütün boyutlar arasında istatistiksel bir eşitlik söz konusu olduğu görülmüştür. Karot numunelerde ise sadece normal dayanım sınıfında ve maksimum agreg a çapı 32 mm olan grupta boyutlar arasında istatistiksel bir eşitlik olduğu görülmüştür.

4.2.5 Dönüşüm faktörünün belirlenmesi

Küp ve karot numunelere ait ortalama dayanım değerlerinin yüzdesel olarak değişiminin incelenmesi yapılan karşılaştırmalarda dönüşüm faktörlerinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Deneyde kullanılan dayanım sınıflarının az olması nedeni ile numune boyutları arasında bir korelasyon bağıntısının elde

edilememiştir. Burada sadece numunelerin boyutları arasında yüzdesel olarak değişimleri Tablo 4.16 da verilmiştir. Karot numunelerin kendi aralarındaki yüzdesel değişimi incelenirken, küp numunelerde standart numune olarak kabul edilen 150 mm boyutlu numunelere olan dönüşüm faktörleri incelenmiştir.

Tablo 4.16: Boyutlar Arasındaki Ortalama Dayanımın Dönüşüm Faktörleri

Karışım Sınıfı	N.D.12	N.D.22	N.D.32	Y.D. 12	Y.D.22	Y.D. 32
Numune Boyutu	Ortalama Basınç Dayanım Değerleri (MPa)					
54 mm Karot	35	42,4	37,8	76,1	77,7	76,7
100 mm Karot	42,3	44,9	37,9	77,9	81,8	81,5
142 mm Karot	37,4	38,3	37,1	68,1	71	66,3
50 mm Küp	40	46,6	43,5	78	81,6	82,7
100 mm Küp	47,2	49,8	47,1	83,3	84,8	87,8
150 mm Küp	46,9	47	46,4	75,5	77,6	77,8
200 mm Küp	45,3	44,1	41,6	70,3	73,4	76
Ortalama Dynm. Oranları (%)	Karot Numuneler					
	N.D.12	N.D.22	N.D.32	Y.D. 12	Y.D.22	Y.D. 32
$f_{karot54} / f_{küp,50}$	88	91	87	98	95	93
$f_{karot100} / f_{küp100}$	90	90	80	94	96	93
$f_{karot142} / f_{küp150}$	80	81	80	90	91	85
Ortalama Dynm. Oranları (%)	Küp numuneler					
	N.D.12	N.D.22	N.D.32	Y.D. 12	Y.D.22	Y.D. 32
f_{c50} / f_{c150}	85	99	94	103	105	106
f_{c100} / f_{c150}	101	106	102	110	109	113
f_{c200} / f_{c150}	97	94	90	93	95	98

Tablo 4.16 da görüldüğü üzere çeşitli çaptaki karot numunelerin eşdeğer boyuttaki küp numunelerine oranlarının ortalamalarından ve farklı boyuttaki küp numunelerin 150 mm küp cinsinden elde edilen dönüşüm katsayısı agrega çapına bağlı olarak farklı değerler göstermiştir. Burada 54 mm karotlar 50 mm küp numuneye dönüşüm katsayısı normal dayanım sınıfında 0.88, yüksek dayanım sınıfında 0.95 dönüşüm

katsayısı ile, 100 mm karot numunelerin 100 mm küp numuneye normal dayanım sınıfında 0.80, yüksek dayanım sınıfında 0.89 ve 142 mm çaplı karotun 150 mm küp numuneye dönüşüm katsayısı normal dayanım sınıfında 0.80, yüksek dayanım sınıfında ise 0.88 dönüşüm katsayısı ile orantılı olduğu belirlenmiştir.

Küp numunelerde standart küp 150 mm numuneye oranla 50 mm küp numuneler normal dayanım sınıfında ortalama olarak 0.93, yüksek dayanım sınıfında ise 1.05 gibi bir dönüşüm katsayısı ile, 100 mm küp numuneler ise normal dayanım sınıfında 1.03, yüksek dayanım sınıfında ise 1.1 gibi bir dönüşüm katsayısı ile, 200 mm küp numuneler ise 150 mm küp numunelere oranla normal dayanım sınıfında 0.93, yüksek dayanım sınıfında ise 0.94 dönüşüm katsayısı ile orantılıdır.

5-GENEL SONUÇLAR

- Basınç dayanımı numune boyutuna ve şekline göre değişmektedir. Bu değişimde numune boyutunun artması ile dayanımın azaldığı gözlenmiş, ancak küçük boyuttaki karot ve küp numunelerde bu görüşün aksine değerler elde edilmiştir. Numune boyutları arasındaki dayanım farkı beton sınıfı yükseldikçe yüzdesel olarak azalmaktadır.
- Küçük boyutlu numunelerin basınç deneylerinde kullanılması bazı avantajlar sağlamasına karşın yüksek mukavemetli betonlarda kullanımı diğer boyuttaki numunelere oranla daha fazla etkiye maruz kalmasına neden olmaktadır.
- Küp numunelerde en yüksek dayanım değerinin 100 mm küpte, en düşük dayanım değerinin ise 200 mm küpte olduğu; silindirik numunelerde ise en yüksek dayanım değerinin 100 mm çaplı karotta, en düşük değer ise 142 mm çaplı karotta olduğu belirlenmiştir.
- 100 mm küpte yapılan kesme işlemine bağlı olarak, kesilen yüzey sayısının artmasına paralel olarak numunenin ortalama dayanımı normal dayanım sınıfında % 3, yüksek dayanım sınıfında ise % 6 bir artış göstermiştir. Kesilen yüzey sayısındaki artışın oluşan hasarın artmasına rağmen gözlenen bu artış kesim işlemi ile birlikte cidar etkisinin oluşturduğu dayanım düşüklüğünü ortadan kaldırdığını göstermektedir.
- 100 mm lik küp numuneler üzerinde yapılan çalışmaya göre, kesim yüzeyinin kalıp yüzeyinden olan uzaklığının basınç dayanımına etkisi incelenmiş ve 50 mm uzaklığın 100 mm uzaklığa göre daha yüksek dayanım verdiği ve bu durumun 50 mm uzaklıkta cidar etkisinin görülmemesi, ancak 100 mm de numunenin tam ortasına rastgelen betonda heterojenlik oluşmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.
- 100 mm çaplı karotların istatistiksel değerlerinin (standart sapma ve değişkenlik katsayısı) küçük ve büyük çaptaki karotlara nazaran daha düşük

değerler alması ve karot alınacak yapıya fazla bir hasar vermemesi açısından yerinde basınç dayanımının belirlenmesinde daha uygun olacağı görülmüştür.

- Eşdeğer boyuttaki Karot / Küp dayanım oranlarında 50 mm boyutlu numunelerde 0.88-0.95 arasında olup ortalama olarak 0.92; 100 mm boyutlu numunelerde 0.80-0.89 arasında olup ortalama olarak 0.91 ve 150 mm boyutlu numunelerde 0.93-1.05 arasında olup ortalama olarak 0.85 değerleri elde edilmiştir. Bu oranların boyut küçüldükçe 1'e yaklaşacağı ve eşit olabileceği görülmüştür.
- Küp numunelerin standart numune olarak alınan 150 mm küpe olan dönüşüm katsayıları 50 mm küp için 0.93-1.05 arasında olup ortalama olarak 0.98; 100 mm küp için 1.03-1.10 arasında olup ortalama olarak 1.06; 200 mm küpte ise 0.93-0.94 arasında olup ortalama olarak 0.94 ile orantılı olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Ersoy, U.**, 2000. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı,ODTÜ,Evrım Yayınları , Ankara , 18-24.
- [2] **Özkul, M.H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M.**, 1999. Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [3] **Şengül, C.**, 2005. Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ve Lif Dayanımının Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **Aitcin, P.C.**, 1998. High Performance Concrete, University Of Sherbrooke, Canada.
- [5] **Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Yerlikaya, M.**, 2003. Geleneksel Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar , *Türkiye Mühendislik Haberleri*,TMMOB , **426**, 76-84.
- [6] **Erdoğan, Ş., Kurbetçi, Ş.**, 2003. Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri* , **426**, 115-120.
- [7] **Atiş, C.D., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U.K., Demir, A.**, 2003. Silis Dumanı Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi, *Türkiye Mühendislik Haberleri* , **426** , 121-124.
- [8] **Özyurt, N.**, 2000. Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Akman, S.**, 1990. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [10] **Doğan, Ü.A.**, 2000. Yeni Kuşak Süper Akışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [11] **Yılmaz, A.D.**, 2003. Yeni Kuşak Hiper akışkanlaştırıcı Beton Katkıları, *Türkiye Mühendislik Haberleri*. , **426**, 125-129.
- [12] **Postacıoğlu, B.**, 1987. Beton, Cilt 2 , Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- [13] **Yavuz, E.**, 1995 . Betondaki Boyut Etkisinin Bileşimle İlgisi , *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [14] **Haris, H.G., Sabnis, G.M.**, 1999. Structural Modelling and Experimental Techniques, CRC Pres Second Edition, 415-433.
- [15] **Aitcin, P.C., Miao, B., Cook, M.K.**, 1994. Effects of Size and Curing on Cylinder Compressive Strength of Normal and High Strength Concretes, *ACI Material Journal* , **91** , 4 , 349-354 July-August.

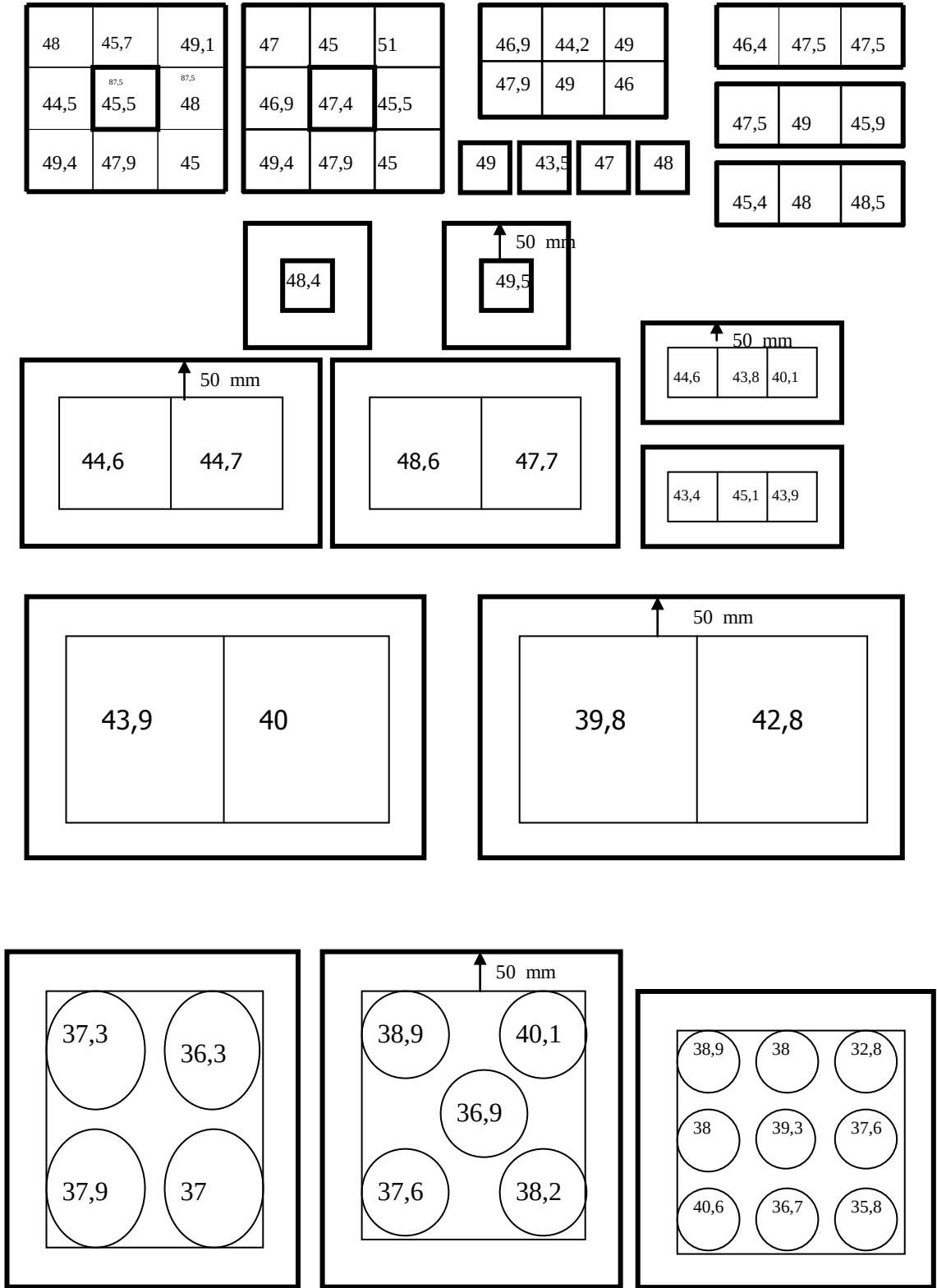
- [16] **Soroka, I., Baum, H.**, 1994. Influence of Specimen Size on Effect of Curing Regime on Concrete Compressive Strength, *Journal of Materials in Civil Engineering* , **6**, 1,15-22.
- [17] **Arioğlu, E., Arioğlu, N.**, 2005. Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [18] **Barlett, M., MacGregor, J.G.**, 1994. Effect of Core Diameter on Concrete Core Strength , *ACI Materials Journal*, **91**, 5, 460-470.
- [19] **Tanigawa,Y.,Yamada, K.**, 1978. Size Effect in Compressive Strength of Concrete , *Cement and Concrete Research* , **8**, 181-190.
- [20] **Şener, S.**, 1997. Size Effect tests of High Strength Concrete, *Journals of Materials in Civil Engineering* , **9** , 1 , 46-48.
- [21] **Issa, S.A., Islam, Md.S., Issa, M.A., Yousif, A.A, Issa, Mohsen, A.**, 2000. Specimen and Aggregate Size Effect on Concrete Compressive Strength, *Cement ,Concrete and Aggregates* , **22** , 2 , 103-115.
- [22] **Chin, M.S., Mansur, M.A., Wee, T.H.**, 1997. Effects of Shape, Size and Casting Direction of Specimens on Stress-Strain Curves of High Strength Concrete, *ACI Material Journal*, **94**, 3 , 209-219.
- [23] **Rashid, M.A., Mansur, M.A., Paramasiam, P.**, 2002. Correlation between Mechanical Properties of High Strength Concrete, *Journal Material Civil Engineering* , **14**, 3 , 230-238.
- [24] **Barlett, F.M., Macgregor, J.G.**, 1994. Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strengths, *ACI Materials Journal*, **91**, 4, 339-348 July-August.
- [25] **Tokyay, M., Özdemir, M.**, 1997. Specimen Shape and Size Effect on the Compressive Strength of Higher Strength Concrete, *Cement and Concrete Research*, **27** , 8, 1281-1289.
- [26] **Zheng, J.J., Li, C.Q.**, 2002. Three-Dimensional Aggregate Density in Concrete with Wall Effect, *ACI Material Journal* , **99**, 568-575, (November –December).
- [27] **Larrard, F., Belloc, A.**, 1997. The İnfluence of Aggregate on the Compressive Strength of Normal and High Strength Concrete, *ACI Materials Journal* , **94**, 5 , 417- 425 September – October.
- [28] **Carrasquillo, R.L., Carrasquillo, P.M.**, 1988. Evaluation of the use of Current Concrete Practise in the Production of High Strength Concrete, *ACI Material Journal* , **85**, 1 , 49-54.
- [29] **Lessard, M., Chaallal, O., Aitcin, P.C.**, 1993. Testing High Strength Concrete Compressive Strength, *ACI Materials Journal* , **90**, 4 , 303-308.

- [30] **Zheng, J.J, Li, C.Q., Zhao, L.Y.**, 2003. Simulation of Two-Dimensional aggregate Distribution with Wall Effect, *Journals of Materials in Civil Engineering* , **15** , 5 , 506-510.
- [35] **Neville, A.M.**, 1995. Properties of Concrete, 4.Edition , Longman Group Limited, Essex.

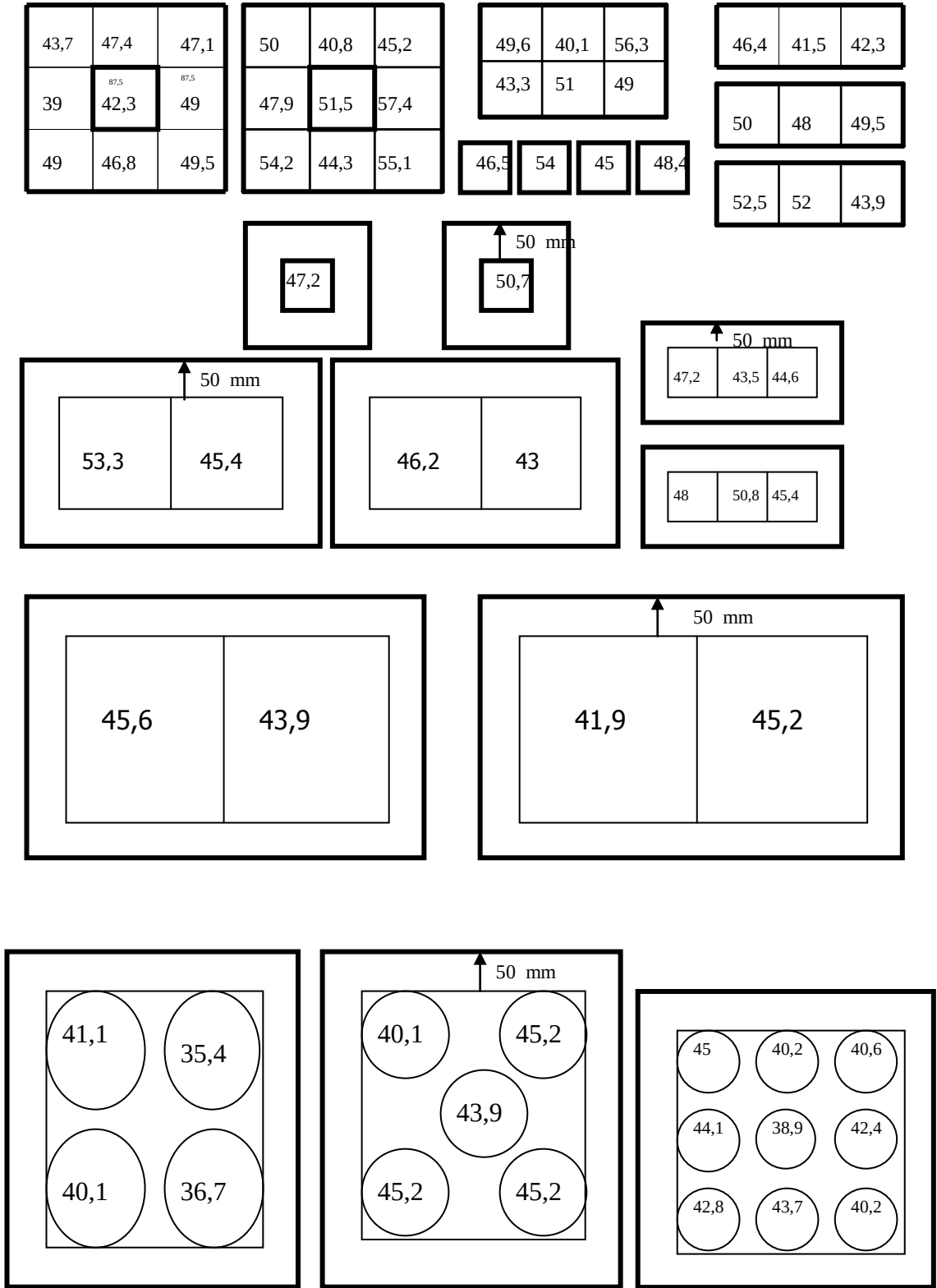
EKLER

Tablo A.1: Student –t- Sayısı Çizelgesi

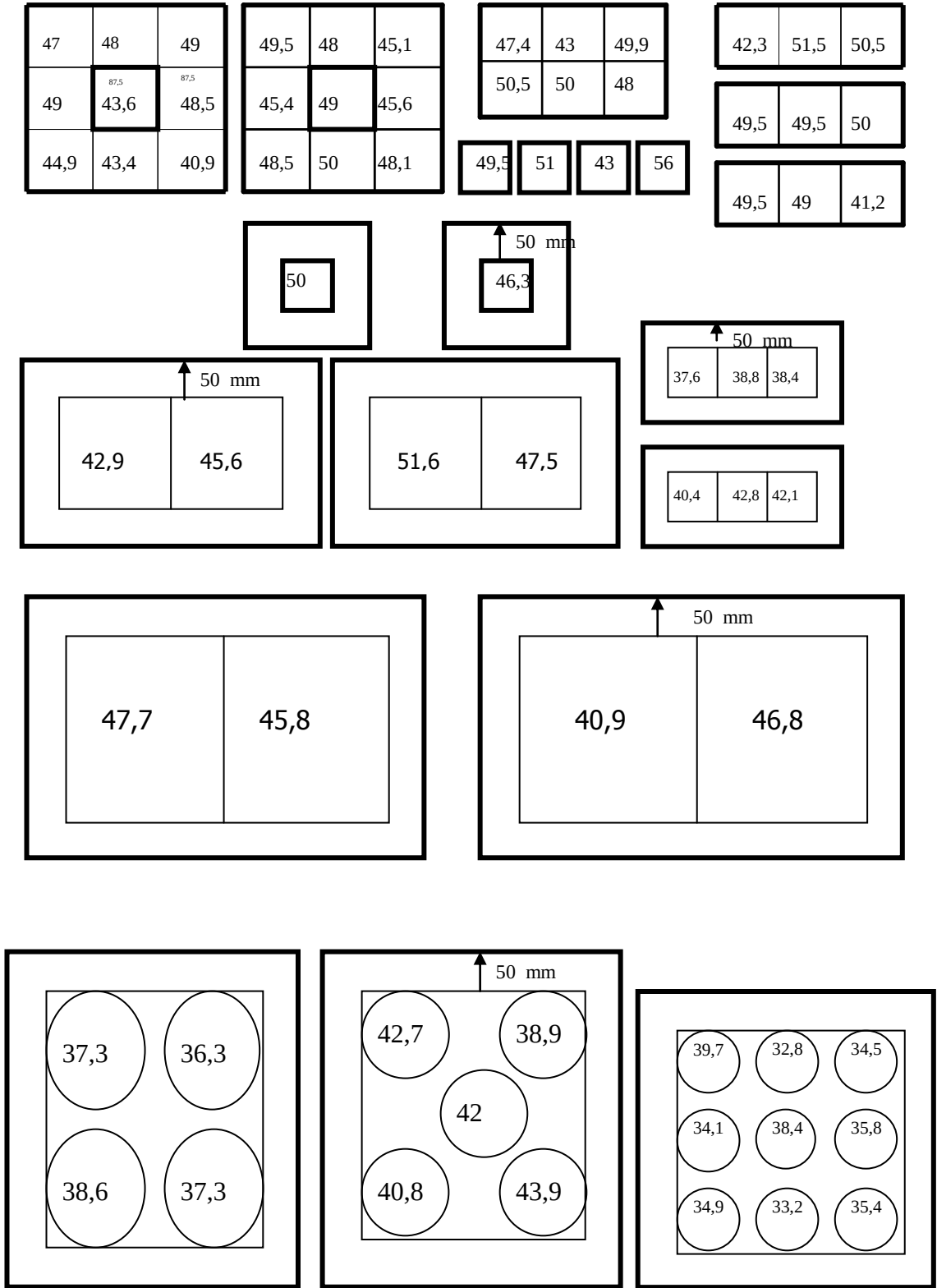
STUDENT SAYISI t ÇİZELGESİ							
v	t _{0.995}	t _{0.99}	t _{0.975}	t _{0.95}	t _{0.90}	t _{0.80}	t _{0.75}
1	63.66	31.82	12.71	6.31	3.08	1.376	1.000
2	9.92	6.96	4.30	2.92	1.89	1.061	0.816
3	5.84	4.54	3.18	2.35	1.64	0.978	0.765
4	4.60	3.75	2.78	2.13	1.53	0.941	0.741
5	4.03	3.36	2.57	2.02	1.48	0.920	0.727
6	3.71	3.14	2.45	1.94	1.44	0.906	0.718
7	3.50	3.00	2.36	1.90	1.42	0.896	0.711
8	3.36	2.90	2.31	1.86	1.40	0.889	0.706
9	3.25	2.82	2.26	1.83	1.38	0.883	0.703
10	3.17	2.76	2.23	1.81	1.37	0.879	0.700
11	3.11	2.72	2.20	1.80	1.36	0.876	0.697
12	3.06	2.68	2.18	1.78	1.36	0.873	0.695
13	3.01	2.65	2.16	1.77	1.35	0.870	0.694
14	2.98	2.62	2.14	1.76	1.34	0.868	0.692
15	2.95	2.60	2.13	1.75	1.34	0.866	0.691
16	2.92	2.58	2.12	1.75	1.34	0.865	0.690
17	2.90	2.57	2.11	1.74	1.33	0.863	0.689
18	2.88	2.55	2.10	1.73	1.33	0.862	0.688
19	2.86	2.54	2.09	1.73	1.33	0.861	0.688
20	2.84	2.53	2.09	1.72	1.32	0.860	0.687
21	2.83	2.52	2.08	1.72	1.32	0.859	0.686
22	2.82	2.51	2.07	1.72	1.32	0.858	0.686
23	2.81	2.50	2.07	1.71	1.32	0.858	0.685
24	2.80	2.49	2.06	1.71	1.32	0.857	0.685
25	2.79	2.48	2.06	1.71	1.32	0.856	0.684
26	2.78	2.48	2.06	1.71	1.32	0.856	0.684
27	2.77	2.47	2.05	1.70	1.31	0.855	0.684
28	2.76	2.47	2.05	1.70	1.31	0.855	0.683
29	2.76	2.46	2.04	1.70	1.31	0.854	0.683
30	2.75	2.46	2.04	1.70	1.31	0.854	0.683
40	2.70	2.42	2.02	1.68	1.30	0.851	0.681
60	2.66	2.39	2.00	1.67	1.30	0.848	0.679
120	2.62	2.36	1.98	1.66	1.29	0.845	0.677
∞	2.58	2.33	1.96	1.65	1.28	0.842	0.674



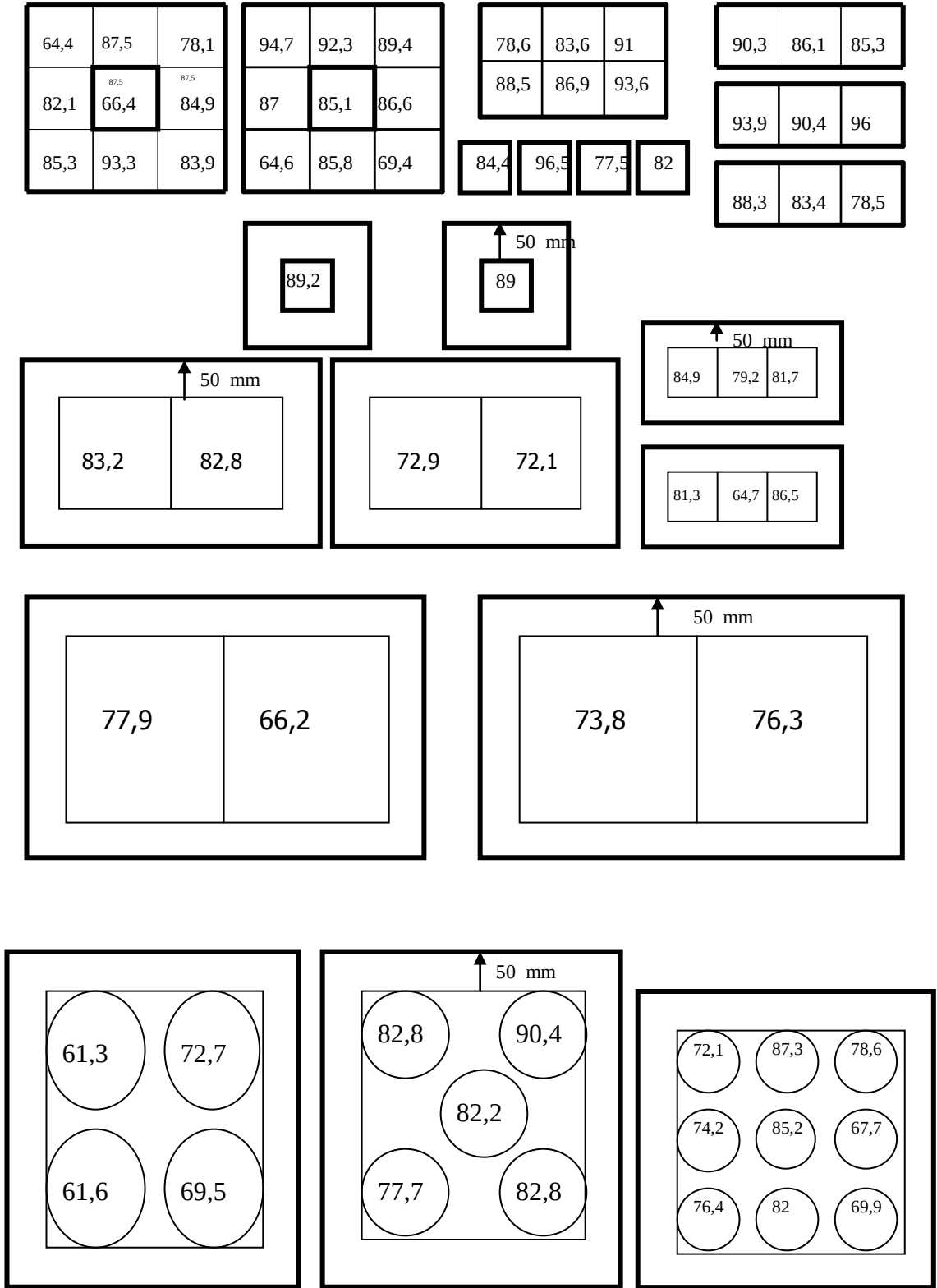
Şekil B.2: N.D.B. 32 mm Sınıfı Numune Basınç Dayanım Sonuçları



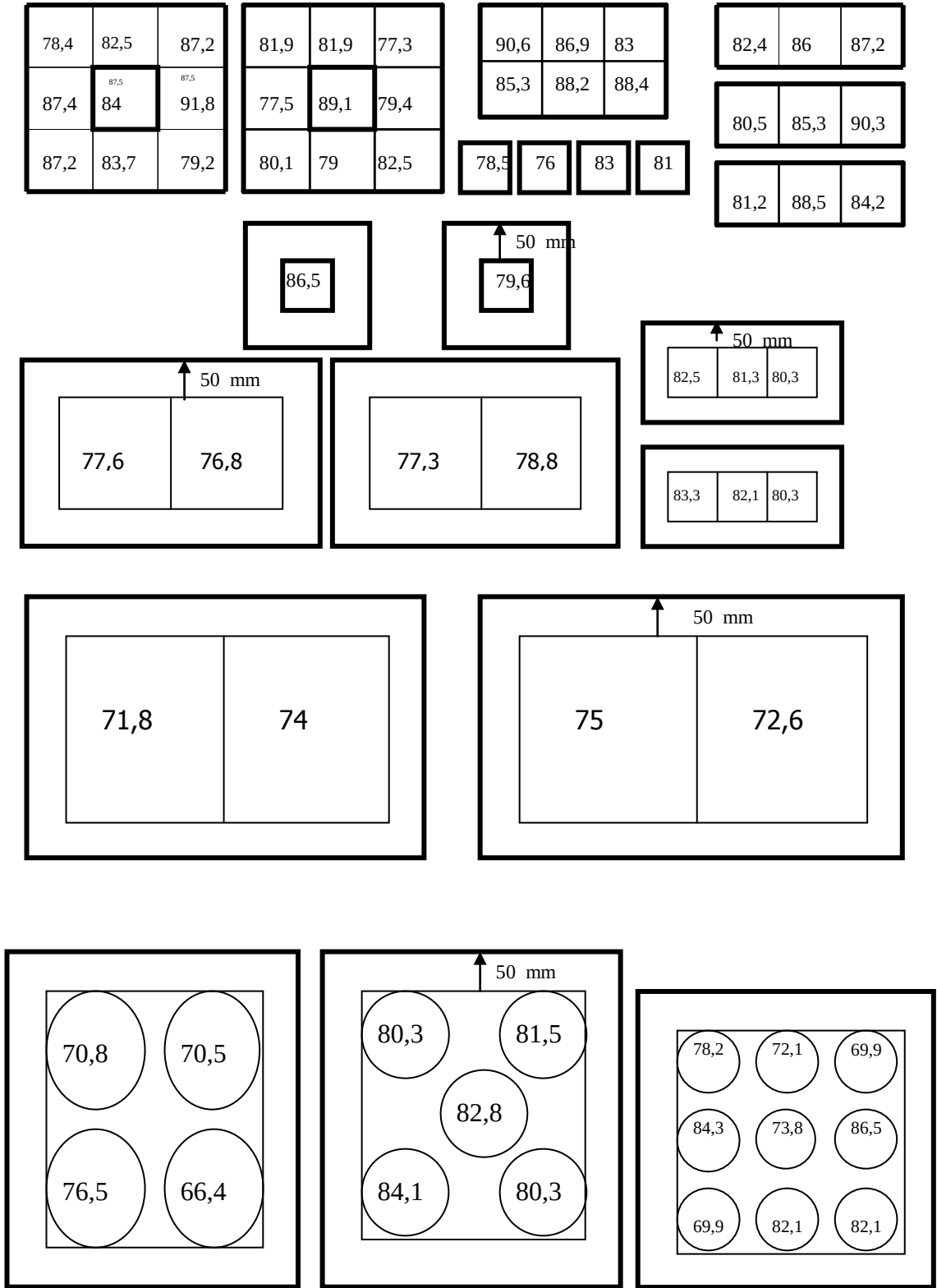
Şekil B.3: N.D.B. 22 mm Sınıfı Numune Basınç Dayanım Sonuçları



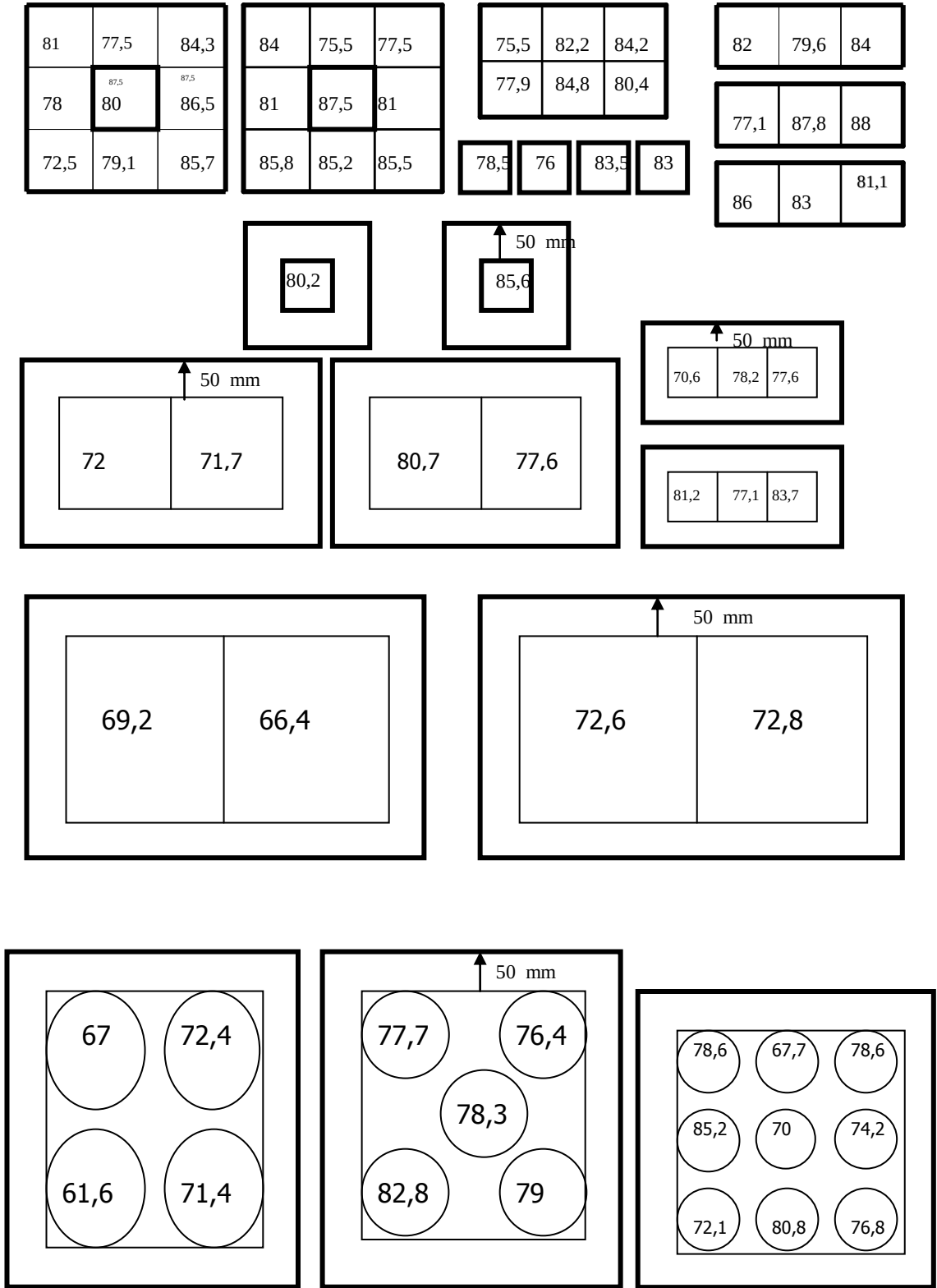
Şekil B.4: N.D.B. 12 mm Sınıfı Numune Basınç Dayanım Sonuçları



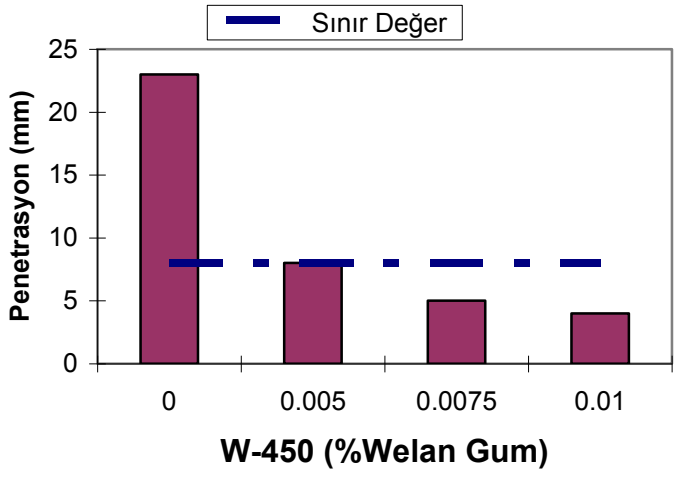
Şekil B.5: Y.D.B. 32 mm Sınıfı Numune Basınç Dayanım Sonuçları



Şekil B.6: Y.D.B. 22 mm Sınıfı Numune Basınç Dayanım Sonuçları



Şekil B.7: Y.D.B. 12 mm Sınıfı Numune Basınç Dayanım Sonuçları



W-450 (%Welan Gum)

Merzifon ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini . 1998 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi. 1998–1999 yılında başladığı öğrenimini 2002 yılında tamamladı. 2002 yılında İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Anabilim dalına girdi. 2002–2003 yılında İ.T.Ü. İngilizce Hazırlık Bölümünü bitirdikten sonra 2003 yılında başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.